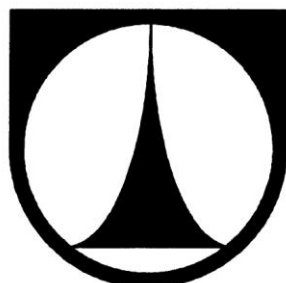


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**MOBILNÍ ZAŘÍZENÍ PRO LOKALIZACI A ODSÁTÍ
VÝBUŠNÝCH PLYNŮ V BLÍZKOSTI MOTORU**

**MOBILE DEVICES FOR LOCATION AND SUCTION OF
EXPLOSIVE GASES IN NEARNESS TO THE ENGINE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tomáš Beran

Květen 2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Program: B2341 - Strojírenství
Obor: 2301R022 - Stroje a zařízení
Zaměření: Dopravní stroje a zařízení

**MOBILNÍ ZAŘÍZENÍ PRO LOKALIZACI A ODSÁTÍ
VÝBUŠNÝCH PLYNŮ V BLÍZKOSTI MOTORU**

**MOBILE DEVICE FOR LOCATION AND SUCTION OF
EXPLOSIVE GASES IN NEARNESS TO THE ENGINE**

Bakalářská práce

KVM – BP – 275

Tomáš Beran

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D., TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářské práce: Ing. Petr Starý, TU v Liberci, CxI

Počet stran: 49

Počet obrázků: 30

Počet příloh: 2

Počet výkresů: 30

Květen 2012

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

MOBILNÍ ZAŘÍZENÍ PRO LOKALIZACI A ODSÁTÍ VÝBUŠNÝCH PLYNŮ V BLÍZKOSTI MOTORU

Anotace

První část bakalářské práce zpracovává problematiku týkající se bezpečnosti provozu motorů na plynná paliva v laboratoři pohonných jednotek. Hlavní část práce pojednává o vlastním návrhu mobilního odsávacího zařízení včetně výkresové dokumentace. Poslední část práce je zaměřena na předřazení navrhnutého zařízení v havarijním bezpečnostním systému, který je naprojektován v Cxl.

Klíčová slova: plynná paliva, vodík, LPG, CNG, laboratoř pohonných jednotek, bezpečnostní systém, odsávací zařízení

MOBILE DEVICE FOR LOCATION AND SUCTION OF EXPLOSIVE GASES IN NEARNESS TO THE ENGINE

Annotation

The first part of bachelor thesis processes problems regarding to work safety of gas fuel engines in combustion engine laboratory. Main part of this thesis deals with design of mobile suction device including drawing documentation. Last part of my thesis is focused on prepending of designed device in the safety system, which is projected in Cxl.

Key words: gas fuels, hydrogen, LPG, CNG, combustion engine laboratory, safety system, suction device

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno :

2012

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....

podpis

Poděkování

Tímto chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Celestýnu Scholzovi Ph.D., za jeho čas, rady a připomínky v průběhu zpracování této bakalářské práce. Velký dík patří také mým rodičům a celé rodině za jejich vytrvalou podporu po celou dobu mého studia.

Seznam zkratk

CxI	nově postavené výzkumné centrum Technické univerzity v Liberci
Sb.	Sbírka zákonů
ES	Evropská směrnice
H ₂	vodík
LPG	zkapalněný ropný plyn (z angl. Liquefied Petroleum Gas)
CNG	stlačený zemní plyn (z angl. Compressed Natural Gas)
DMV	dolní mez výbušnosti
HMV	horní mez výbušnosti
ppm	jednotka - jedna miliontina z celku (z angl. Parts per million)

Seznam symbolů a jednotek

G ₁	tíha digestoře	[N]
G ₂	tíha vodícího profilu profilu „C“	[N]
G ₃	tíha ramene digestoře	[N]
G ₄	tíha ramene a příčné části podvozku	[N]
G ₅	tíha podélné části podvozku	[N]
G ₆	tíha ventilátoru	[N]
G ₇	tíha teleskopického sloupu a příčné části podvozku	[N]
G ₈	tíha odsávacího nátrubku s magnetem	[N]
G ₉	tíha teleskopického sloupu	[N]
G ₁₀	tíha teleskopického ramene	[N]
q _{rd}	spojité zatížení ramene digestoře	[N/m]
q _{rt}	spojité zatížení teleskopického ramene	[N/m]
l ₁ - l ₁₈	délkové hodnoty	[m]
R _A , R _B	reakce v místě A, reakce v místě B	[N]
M _A	moment v místě A	[Nm]
C _A , C _B	minimální únosnost koleček v místě A a B	[N]
C	únosnost navrhnutých koleček	[N]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
G	modul pružnosti ve smyku	[MPa]
R _e	mez kluzu	[MPa]
k _p	požadovaná bezpečnost	[1]
σ _{dov}	dovolené napětí	[MPa]
M(x)	moment v místě řezu	[Nm]
w''	2. integrace rovnice průhybové čáry (ohybový moment)	[Nm]
w'	integrace rovnice průhybové čáry (sklon)	[rad]

w	rovnice průhybové čáry (průhyb)	[m]
c_1, c_2	integrační konstanty	[1]
w_{\max}	maximální průhyb dílu	[m]
M_{\max}	maximální ohybový moment	[Nm]
σ_{\max}	maximální ohybové napětí	[MPa]
$J_{y1} - J_{y6}$	kvadratický moment příslušného profilu	[mm ⁴]
$W_{o1} - W_{o6}$	průřezový modul v ohybu příslušného profilu	[mm ³]
M_{o1}, M_{o2}	ohybový moment	[Nm]
J_p	polární moment nohy podvozku	[mm ⁴]
W_k	průřezový modul v krutu nohy podvozku	[mm ³]
M_{k1}, M_{k2}	krouticí moment	[Nm]
τ_k	napětí v krutu	[MPa]
τ_{Dovk}	dovolené napětí v krutu	[MPa]
φ	úhel zkroucení	[rad]
a	výška největšího rovnoramenného trojúhelníka vepsaného do průřezu koutového svaru	[m]
s	nejmenší vzdálenost od povrchu svařovaného dílu ke spodní hranici závaru (u tupého svaru)	[m]
b, d, h	určující rozměry dílů	[m]
l_{sv}	délka svaru	[mm]
l_v	výpočtová délka svaru	[mm]
S	výpočtový průřez svaru	[mm ²]
T	smyková síla	[N]
z	vzdálenost nejkrajnějšího vlákna od neutrální osy	[mm]
J_o	kvadratický moment příslušného svaru	[mm ⁴]
W_o	průřezový modul v ohybu příslušného svaru	[mm ³]
$\sigma_{o\perp}$	ohybové napětí (kolmé) – tupý svar	[MPa]
σ_s	srovnávací napětí	[MPa]
$\sigma_{Dov\perp}$	dovolené napětí v kolmém směru – tupý svar	[MPa]
$\tau_{Dov\perp}$	dovolené napětí v kolmém směru	[MPa]
$\tau_{s\perp}$	smykové napětí (čelní-kolmé)	[MPa]
$\tau_{t\perp}$	tahové napětí (čelní-kolmé)	[MPa]
$\tau_{o\perp}$	ohybové napětí (čelní) – koutový svar	[MPa]
$\tau_{d\perp}$	tlakové napětí (čelní) – koutový svar	[MPa]
$\tau_{s\parallel}$	smykové napětí (boční) – koutový svar	[MPa]
α_{\perp}	převodní součinitel tupého svaru	[1]
$\alpha_{\tau\perp}$	převodní součinitel koutového svaru	[1]

Obsah

1. ÚVOD.....	11
2. BEZPEČNOST PROVOZU PLYNOVÝCH MOTORŮ PŘI EXPERIMENTECH A MĚŘENÍCH V LABORATOŘI POHONNÝCH JEDNOTEK.....	12
2.1. Plyná paliva	12
2.1.1. Vodík.....	12
2.1.2. Zkapalněný ropný plyn.....	13
2.1.3. Stlačený zemní plyn	14
2.1.4. Zhodnocení vlastností a porovnání paliv z hlediska bezpečnosti.....	15
2.2. Opatření k eliminaci rizik spojených s rozvodem a spalováním paliva	16
2.3. Systémy bezpečnostních opatření.....	17
2.4. Bezpečnostní odsávací systém	18
2.4.1. Laboratoř pouze s havarijním bezpečnostním systémem	19
2.4.2. Laboratoř se systémem havarijním a jemu předřazeným.....	19
2.5. Mobilní odsávací zařízení	21
2.5.1. Odsávání ukotvené ke zdi.....	21
2.5.2. Odsávání ukotvené ke stropu	21
2.5.3. Pojízdný odsávací vozík.....	22
2.5.4. Ukázky provedení mobilních odsávacích zařízení	22
3. KONSTRUKCE VLASTNÍHO NÁVRHU	23
3.1. Požadavky na konstrukci	23
3.2. Konstrukce podvozku	23
3.3. Pružinový pístek	24
3.4. Pojezdová kolečka.....	24
3.5. Teleskopický sloup	25
3.6. Dělitelné rameno nesoucí digestoř	25
3.7. Konstrukce digestoře.....	26
3.8. Posuvné vedení digestoře	26

3.9.	Rameno umožňující odsátí prostoru pod motorem	27
3.10.	Vzduchotechnické prvky	28
3.11.	Možnosti odsávání	29
4.	Výpočty navrženého konstrukčního řešení	30
4.1.	Zatížení pojezdových koleček, výpočet stability	30
4.2.	Pevnostní výpočty	31
4.2.1.	Ohyb ramene nesoucího digestoř	32
4.2.2.	Ohyb teleskopického sloupu	33
4.2.3.	Kontrola podvozku na krut	34
4.2.4.	Výsledný posun konce ramene nesoucího digestoř	35
4.2.5.	Kontrola napětí na spojovacím členu ramene nesoucího digestoř	36
4.2.6.	Ohyb držáku digestoře	37
4.2.7.	Ohyb podvozku v podélném směru	38
4.2.8.	Ohyb podvozku v příčném směru	39
4.2.9.	Teleskopické rameno	40
4.3.	Kontrola svarů	41
4.3.1.	Svar mezi ramenem nesoucím digestoř a teleskopickým sloupem	41
4.3.2.	Svar mezi teleskopickým sloupem a podvozkem	42
4.3.3.	Svar mezi podélnou a příčnou částí podvozku	43
4.3.4.	Svar mezi teleskopickým ramenem a objímkou	43
4.3.5.	Svar mezi držákem ventilátoru a podvozkem	44
4.3.6.	Svar mezi digestoří a držákem	45
5.	Předřazení mobilního odsávacího zařízení	46
5.1.	Možnosti odsávání	46
5.2.	Identifikace uniklého paliva	46
5.3.	Reakce na únik paliva	46
6.	Závěr	47
	Použitá literatura	48

1. ÚVOD

Při měřeních a experimentech v laboratoři spalovacích motorů na plynná paliva nesmíme zapomínat na rizika, která nám zde hrozí. V těchto laboratořích je nutné dbát na dodržování platných bezpečnostních předpisů a norem, týkajících se nakládáním s plynnými palivy. Zároveň samotné prostory motorové zkušebny musí splňovat příslušné bezpečnostní, technické a protipožární předpisy. Jeden z nich ukládá povinnost vybavit laboratoř vhodným bezpečnostním systémem, který patřičně zareaguje na únik paliva. Právě únik paliva patří mezi největší hrozby nebezpečí na zkušebně. A to z důvodu možnosti vznícení paliva, v horším případě i jeho výbuchu. Abychom tomuto riziku předešli, je nutné do laboratoře nainstalovat vhodný bezpečnostní havarijní systém. Ten při překročení přípustné koncentrace uniklého paliva v prostoru zkušebny spustí automaticky odsávání a zároveň vyřadí z provozu celou motorovou zkušebnu. Abychom se vyhnuli spuštění tohoto systému a následnému odstavení celé laboratoře, lze bezpečnostnímu havarijnímu systému předřadit citlivější zařízení. To zaznamená přítomnost plynu již při nízké koncentraci v prostoru zkušebny a upozorní obsluhu na zkušebně. Obsluha na výstražný signál zareaguje uzavřením přívodu paliva k pohonné jednotce. Pokud však nezareaguje dostatečně rychle a nadále poroste koncentrace plynu v laboratoři, aktivuje se havarijní odsávací systém, jenž je dimenzován na větší únik paliva.

Úkolem rešeršní části bakalářské práce je zpracovat problematiku provozu plynových motorů při experimentech na zkušebně. V této části práce budou zpracovány fyzikálně-chemické vlastnosti paliv, rizika spojená s těmito vlastnostmi, vliv paliv na lidský organismus a instalace rozvodné sítě paliva v laboratoři. Dále budou popsány používané bezpečnostní systémy a mobilní odsávací zařízení.

Hlavním cílem práce je navrhnout výše zmiňované předřazené odsávací zařízení, které musí být mobilní a použitelné pro lokalizaci a odsátí lehkých i těžkých plynů. K návrhu budou zpracovány kontrolní výpočty a výkresová dokumentace sestavy a výrobních dílů.

Navržené zařízení musí být vhodně předřazené v bezpečnostním havarijním systému, který je naprojektován v laboratoři pohonných jednotek v CxI. Tímto problémem se bude zabývat poslední část bakalářské práce.

2. BEZPEČNOST PROVOZU PLYNOVÝCH MOTORŮ PŘI EXPERIMENTECH A MĚŘENÍCH V LABORATOŘI POHONNÝCH JEDNOTEK

2.1. Plynná paliva

Nakládání s plynnými palivy se v ČR řídí zákonem č. 356/2003 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích. Od 1. Června 2015 se počítá s jeho nahrazením podle nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 1272/2008. [1], [2]

Nejdůležitější informace o vlastnostech chemické látky jsou uvedeny v bezpečnostním listu, který je výrobce či dovozce povinný vyhotovit dle vyhlášky č. 231/2004 Sb. V následujícím textu bude zmínka pouze o palivech, na která je tato bakalářská práce zaměřena, tedy o vodíku, LPG a CNG.

2.1.1. Vodík

Chemické označení: H_2

Souhrn významných vlastností z hlediska bezpečnosti: [4], [3], [1]

Vodík je lehký, bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu. Jeho přítomnost ve vzduchu tedy nelze zjistit pomocí lidských smyslů. Je nejlehčí ze všech plynů (přibližně 14 krát lehčí než vzduch), proto při úniku stoupá rychle vzhůru a kumuluje se u stropu. Zde zároveň narůstá jeho koncentrace ve vzduchu. Vodík spolu se vzduchem tvoří výbušnou směs v širokém koncentračním rozpětí a to od 4 do 75 % objemu vodíku ve vzduchu (toto rozmezí je nazýváno oblast výbušnosti, někdy též vznětlivosti). Důležitý je též široký detonační rozsah, od 18 do 59 % objemu vodíku ve vzduchu. Na vzduchu je snadno zápalný, neboť má velmi nízkou zápalnou energii (0,02mJ), tedy i velmi malý elektrostatický náboj může vyvolat vznícení paliva. Při rychlé expanzi dochází ke zvyšování teploty vodíku (jedná se o záporný Joule-Thompsonův jev) a tím může dojít k samovznícení. Rychlost hoření je oproti jiným palivům vysoká. Plamen vodíku je na denním světle téměř neviditelný, ve tmě namodralý. H_2 má nízkou viskozitu a malé molekuly, což zapříčiňuje jeho snadný únik malými otvory.

Doposud nebyly zjištěny žádné toxické účinky vodíku na lidský organismus. Pouze ve vysokých koncentracích může způsobit člověku zadušení tím, že sníží

obsah kyslíku ve vdechovaném vzduchu. Jedná se o koncentraci, kdy objem vodíku ve vzduchu je vyšší než 30%.

2.1.2. Zkapalněný ropný plyn

Označení: LPG [3]

Jedná se o směs zkapalněných uhlovodíků (ropných plynů) převážně se třemi až čtyřmi atomy uhlíku v molekule. Hlavními složkami LPG jsou propan (C_3H_8) a butan (C_4H_{10}). Zkratkou LPG se dnes označuje propan, butan nebo směs propanu a butanu, která nese obchodní název propan-butan. Poměr koncentrace těchto dvou složek se řídí dle státní normy (v ČR dle ČSN EN 589), výrobce a ročního období (zimní/letní směs). Tedy uvedené hodnoty fyzicko-chemických vlastností LPG, platí pouze pro danou konkrétní směs.

Tab. 1: Obvyklé složení letních a zimních směsí LPG určených pro pohon vozidel ve vybraných evropských zemích [3]

Země	Složení LPG (poměr propan/butan)	
	Letní směs	Zimní směs
Belgie	30/70	50/50
Německo	převaha propanu	převaha propanu
Finsko	propan	propan
Holandsko	30/70	70/30
Norsko	propan	propan
Rakousko	20/80	80/20
Švédsko, Švýcarsko	propan	propan

Souhrn významných vlastností z hlediska bezpečnosti: [5]

Je to bezbarvá, extrémně těkavá, hořlavá a výbušná kapalina, snadno vznětlivá při všech teplotách a to i při teplotě pod 0°C . Spolu se vzduchem vytváří výbušnou směs již při nízkých koncentracích (od 1,5 do 9,5% objemu LPG ve vzduchu – liší se dle složení). Páry LPG mají až dvakrát (podle složení směsi) větší hustotu než vzduch, tudíž při úniku klesají k zemi. Ze stejného důvodu se shromažďují v níže položených prostorech, kde narůstá objem par LPG ve vzduchu a vzniká zde výbušná směs. Při expanzi LPG do prostoru s atmosférickým tlakem dochází k vypařování varem při teplotách dosahujících -45°C . Při úniku mění LPG své skupenství z kapalného na plynné a jeho objem se zvětší až 260 krát. Přítomnost LPG může člověk identifikovat podle specifického zápachu. Hoření propan-butanu

probíhá ve viditelném spektru, jeho plamen je tedy dobře viditelný i za denního světla.

LPG není toxické, ale při delším působení na lidský organismus může být příčinou bolesti hlavy, žaludeční nevolnosti, závratí, svalové slabosti, podráždění očí a dýchacích cest. Hygienické limity propan-butanu na pracovišti jsou stanoveny nařízením vlády č. 361/2007 Sb. Při styku zkapalněného plynu s pokožkou může dojít ke vzniku omrzlin.

2.1.3. Stlačený zemní plyn

Označení: CNG [3]

Jde o směs plynných uhlovodíků stlačených v tlakové lahvi (obvykle na 200 barů), jejíž hlavní složkou je metan (CH_4). Jeho koncentrace ve směsi se liší podle naleziště. Pohybuje se v rozmezí od 80 do 99 % objemu metanu v zemním plynu. Podíl metanu má rozhodující význam pro spalování a vlastnosti CNG. V České republice se pohybuje objem metanu v zemním plynu okolo 97%, což znamená, že má téměř totožné vlastnosti s metanem. Jakost plynu v ČR určuje norma ČSN 38 6110.

Tab. 2: Složení zemních plynů (% obj.) používaných v zemích EU [3]

Složky zemního plynu	Chemický vzorec	Tranzitní (Rusko)	Norský (Ekofisk)	Jihomoravský	Holandský (Groningen)
Metan	CH_4	98,39	85,80	97,70	81,31
Etan	C_2H_6	0,44	8,49	1,20	2,85
Propan	C_3H_8	0,16	2,30	0,50	0,37
Butan	C_4H_{10}	0,07	0,70	-	0,14
Pentan	C_5H_{12}	0,03	0,25	-	0,09
Dusík	N_2	0,84	0,96	0,60	14,35
Oxid uhličitý	CO_2	0,07	1,5	-	0,89

Souhrn významných vlastností z hlediska bezpečnosti: [4], [6]

CNG je lehký, bezbarvý plyn, bez chuti. Jeho přítomnost lze zjistit díky zápachu, který se do plynu přidává kvůli bezpečnosti a nazývá se odér. Metan je přibližně dvakrát lehčí než vzduch a proto při úniku stoupá vzhůru. To v uzavřených prostorech zapříčiňuje jeho kumulaci pod stropem. Spolu se vzduchem vytváří výbušnou směs. Oblast výbušnosti se pohybuje v rozmezí od 4,4 do 17 % objemu metanu ve vzduchu. Metan má vysokou zápalnou teplotu přibližně 650°C , což je

z hlediska bezpečnosti výhodná vlastnost. Plamen metanu je dobře viditelný i za denního světla.

U tohoto paliva nejsou prokázány žádné toxikologické účinky na lidský organismus.

2.1.4. Zhodnocení vlastností a porovnání paliv z hlediska bezpečnosti

V ČR se klasifikace nebezpečnosti chemických látek nebo směsí řídí podle vyhlášky č. 232/2004 Sb. na základě zákona č. 356/2003 Sb. [6] Bezpečnostní klasifikace určuje zařazení chemické látky či přípravku obsahujícího chemickou látku do příslušné skupiny. A to na základě rizik, spojených s touto látkou.

Tab. 3 Vybrané fyzikálně chemické vlastnosti vodíku, LPG, CNG [4], [5]

Parametr	Jednotky	Hodnota		
		Vodík	LPG	Metan
Hustota plynné fáze při 20 °C a 0,1 MPa	kg·m ⁻³	0,09	2,0	0,72
Dolní mez výbušnosti (vznětlivosti) se vzduchem (DMV)	% obj.	4	1,5	4,4
	ppm	40000	15000	44000
Horní mez výbušnosti (vznětlivosti) se vzduchem (HMV)	% obj.	75,6	9,5	17
	ppm	756000	95000	170000
Teplota vznícení	°C	560	470	650
Minimální zápalná (iniciační) energie	mJ	0,017	0,24	0,29
Barva		Bezbarvý	Bezbarvý	Bezbarvý
Zápach		Bez zápachu	Se zápachem	Se zápachem

Vodík a metan jsou plyny lehké a stoupají tedy vzhůru, což oceníme na otevřeném prostoru, kde se rychle rozplynou do okolí. V uzavřené laboratoři, která není dostatečně velká a opatřena střešním odvětráváním, ztrácí tato vlastnost své výhody. V uzavřeném prostoru jsou tedy rizikové přibližně stejně jako těžší LPG.

Vodík má širokou oblast výbušnosti (vznětlivosti). Tedy i směs bohatá na vodík (75% vodíku) s malým podílem vzduchu je výbušná. LPG a CNG mají úzkou oblast výbušnosti. Nebezpečná je pouze směs chudá na LPG či CNG s velkým podílem vzduchu. Tento fakt činí z vodíku palivo nebezpečnější nežli je LPG či CNG. DMV uvedených paliv je obdobná. Při porovnání teploty vznícení je nejbezpečnější metan.

Nejnižší iniciační energií ke vznícení potřebuje vodík. Praktickými zdroji energie pro vznícení (jiskra od elektrického příslušenství, náraz dvou kovových součástí nebo elektrostatický výboj) je však vydáno více energie, než je potřeba ke vznícení dnes používaných paliv ve směsi se vzduchem. [1] Lze tedy konstatovat, že nízká zápalná energie nečiní z vodíku palivo nebezpečnější, nežli je LPG či CNG.

Zjistit únik paliva pomocí lidských smyslů dle zabarvení, zápachu a viditelnosti plamene je nejobtížnější u vodíku. Co se týká účinků paliv na člověka, jediné LPG má negativní vliv na lidský organismus.

Z porovnání je tedy zřejmé, že stlačený zemní plyn je z těchto paliv nejbezpečnější. Vodík a LPG jsou na tom v uzavřeném prostoru přibližně stejně.

Při dodržování zásad bezpečnosti práce s plyny, spolu se zajištěním bezpečnostních opatření a instalací vhodného bezpečnostního systému, je manipulace s plynovými palivy stejně bezpečná jako s ostatními běžnými palivy.

2.2. Opatření k eliminaci rizik spojených s rozvodem a spalováním paliva

V první řadě je potřeba zabezpečit vhodný skladovací prostor pro tlakové lahve s palivem, které je uvnitř stlačeno. Takový prostor musí být dostatečně odvětrávaný, aby se palivo při úniku mohlo rozplynout do okolí. Vhodné je skladovat lahve mimo laboratoř na přirozeně odvětrávaném místě v ochranné kleci se stříškou. Pokud uskladníme palivo v budově, musí být skladovací prostor opatřen příslušnými bezpečnostními prvky, jako jsou detektory identifikující přítomnost paliva, odvětrávací a požární systém. Také musíme zabránit styku tlakových lahví se zdroji vysokých teplot, neboť hrozí roztržení lahve v důsledku nárůstu teploty, tlaku a objemu plynu. Ze stejného důvodu by měly být tlakové nádoby opatřeny uzavíracím ventilem s tepelnou pojistkou, která při zvýšení teploty plynu na kritickou mez umožní řízený únik plynu z nádoby do okolí.

Dále je nutné zajistit bezpečnou dopravu paliva ze zásobníků až k brzdovému stanovišti s motorem, tedy opatřit laboratoř vhodnou rozvodnou sítí paliva. Vedení musí být dimenzované na příslušný rozvodný tlak a musí být vyrobeno z atestovaného materiálu, který chemicky nereaguje s vedeným palivem. Pro zajištění maximální těsnosti rozvodu, musí být potrubí spojováno svářením nebo pájením na tvrdo a rozebíratelná spojení opatřena vhodným těsněním. Vedení musí být na odběrném místě opatřeno elektromagnetickým ventilem, který při překročení stanovené koncentrace plynu na pracovišti uzavře přívod paliva. Ventil je řízen

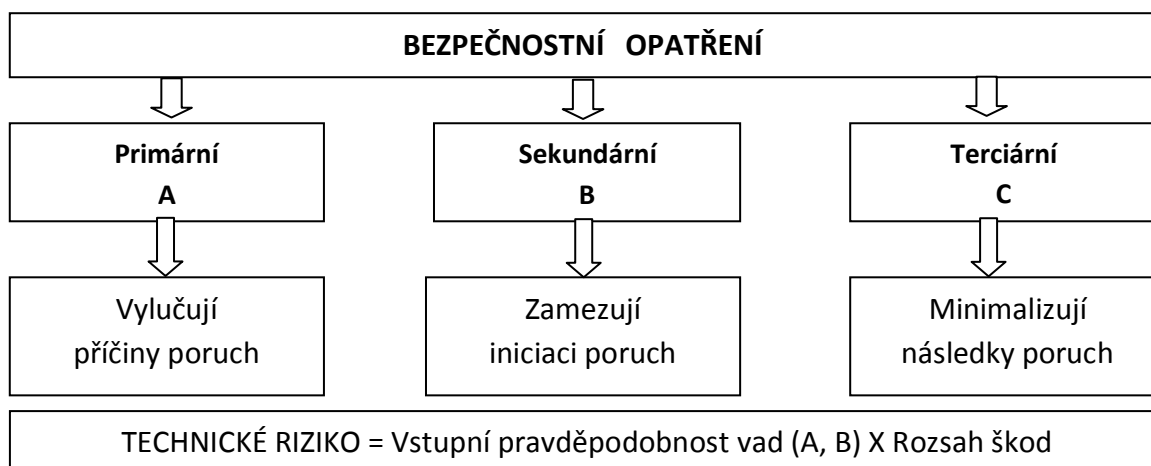
automaticky (elektronickou řídicí jednotkou), ale i bezpečnostním vypínačem ze stanoviště obsluhy. Nezbytné je též zajistit těsnost vedení v místě připojení ke spalovacímu motoru, což bývá spojení s rozvodnou lištou (railem) a injektory.

Přivedené palivo je nutné smísit se vzduchem (vytvořit palivovou směs). Palivová směs je tvořena před vstupem do válce (vnější tvorba směsi) nebo až ve válci (vnitřní tvorba směsi). Vytvořená palivová směs je následně spálena ve válci motoru. Odtud jsou spaliny odváděny výfukovým potrubím, kde může dojít k samovolnému vznícení nespálené směsi. Proto je potřeba kontrolovat dokonalou funkci zapalovací soustavy, o což se stará elektronická řídicí jednotka motoru, která v případě zjištění chyby v zapalování uzavře injektory. Pomocí senzorů by se zároveň jednotka měla starat o monitorování tlaku a teploty paliva v rozvodné liště před injektory. Při zjištění nebezpečné hodnoty vyšle impuls do elektrického ventilu, který automaticky zavře přívod paliva v odběrném místě.

Míst, kde může dojít k nežádoucímu úniku paliva, je poměrně mnoho a je tedy zapotřebí laboratoř opatřit vhodným bezpečnostním systémem.

2.3. Systémy bezpečnostních opatření

Úkolem každého bezpečnostního systému je minimalizovat rizika spojená s používáním plyných paliv na co nejmenší možnou míru. Při volbě a instalaci takového systému je potřeba mít na zřeteli specifické vlastnosti jednotlivých paliv popsané výše, díky čemuž je možné vybrat co nejvhodnější systém, který hrozby spojené s jejich užíváním eliminuje na minimum. Bezpečnostní opatření, která odstraňují a vylučují technická rizika poruch či nehod při používání plyných paliv, se mohou systematicky klasifikovat [3] na primární (A), sekundární (B) a terciární (C).



Obr. 1: Blokové schéma bezpečnostních opatření a jejich dopad na celkové technické riziko poruchy [1].

Upřesnění doposud nezmíněných opatření týkajících se dopravení paliva ze zásobníku ke spalovacímu motoru. [1]

A. Primární bezpečnostní opatření: vylučující příčiny poruch

- Používat zařízení a přístroje, které vyhovují používaným plynům.
- Umísťovat vedení paliva ve volném prostoru venku, nebo v dobře odsávaných či větraných prostorách.
- Při delším odstavení z provozu nahradit palivo inertním plynem.
- Zamezit vytvoření podtlaku v nádržích a potrubích naplněných palivem.
- Pravidelně provádět testy těsnosti systému, používat výstražné přístroje pro identifikaci a odsátí unikajícího paliva.

B. Sekundární bezpečnostní opatření: zamezující iniciaci poruch

- Zamezit vzniku elektrických či mechanických jisker (uzemnění).
- Zákaz kouření a používání otevřeného ohně.
- Použití elektrických přístrojů v nevýbušném provedení.

C. Terciární bezpečnostní opatření: minimalizující následné poruchy

- Zabezpečit rychlé odpojení palivového vedení.
- Nádrže dimenzovat na tlak vznikající při explozi.
- Instalace požárních zařízení.

2.4. Bezpečnostní odsávací systém

Největší hrozbou v laboratoři pohonných jednotek je únik paliva netěsností a jeho smísení se vzduchem, které při dosažení příslušné koncentrace a dodání dostatečné iniciační energie vede ke vznícení, hoření, explozi a následnému vzniku tlakové vlny. Tomuto lze zabránit instalací odsávacího systému, který zabrání vzniku nebezpečné koncentrace směsi paliva se vzduchem.

Takový systém se skládá z detektorů plynu a vzduchotechnických prvků (ventilátorů, potrubí, digestoře atd.). Při úniku paliva na motorové zkušební palivo včas identifikuje a následně odvede z prostoru zkušebny. Princip systému spočívá v detekci uniklého paliva plynovým senzorem, jež vyšle signál ke spuštění odsávání. U některých systémů detektor zároveň spustí výstražný signál (akustický, světelný) pro obsluhu a automaticky odstaví přívod paliva k motoru. Pro včasnou detekci úniku

paliva je rozhodující správné umístění senzorů a nastavení jejich citlivosti. K identifikaci lehkých plynů (vodík, metan) musí být čidlo umístěné v nejvyšším místě testovací místnosti, nejlépe nad motorem nebo odběrným místem paliva. Senzor plynů těžkých (LPG) se instaluje blízko podlahy nebo na jiné níže položené místo. Dále by měl být umístěn jeden citlivější detektor v blízkosti nad motorem, aby zaznamenal uniklý vodík dříve, než se rozplyne v prostoru zkušebny. V případě používání jiných jedovatých plynů s hustotou přibližně stejnou jako má vzduch, se senzor umísťuje okolo 1,5 metru vysoko nad podlahu. Tím je jedovatý plyn identifikován dříve, než dosáhne úrovně hlavy obsluhy laboratoře. Odsávací systém musí být schopen vyměnit objem odsávaného prostoru 50 až 100 krát za hodinu. Odsátá směs vzduchu s plynem je odváděna pomocí nevýbušných ventilátorů mimo budovu (odsátý vzduch necirkuluje ve ventilačním systému).

Provedení a funkce bezpečnostního odsávacího systému se laboratoř od laboratoře liší. Závisí zejména na zástavbovém prostoru, používaných palivech a konkrétních požadavcích vedoucího či vlastníka laboratoře. Odlišnosti jsou především v počtu a typu odsávacích zařízení (mobilní, stacionární), systému zapojení, reakci na únik a cestě odvodu plynu z prostoru zkušebny. Dále jsou uvedeny dvě nejčastěji užívané uspořádání bezpečnostního systému.

2.4.1. Laboratoř pouze s havarijním bezpečnostním systémem

Jedná se o jednodušší provedení, které na případný únik plynu zareaguje tím, že aktivuje poplach, spustí odsávání a odstaví z provozu celou motorovou laboratoř. Systém může být také propojen s bezpečnostními složkami (hasiči) a automaticky zajistit jejich přivolání. Spuštění systému je realizováno pomocí detektorů plynu nastavených obvykle na 10 až 20% DMV – viz Tab. 4. Hlavní nevýhodou systému je, že neupozorní obsluhu na vznikající nebezpečí dříve, než se spustí a odstaví z provozu celou zkušebnu. Z tohoto důvodu se instalují systémy jemu předřazené.

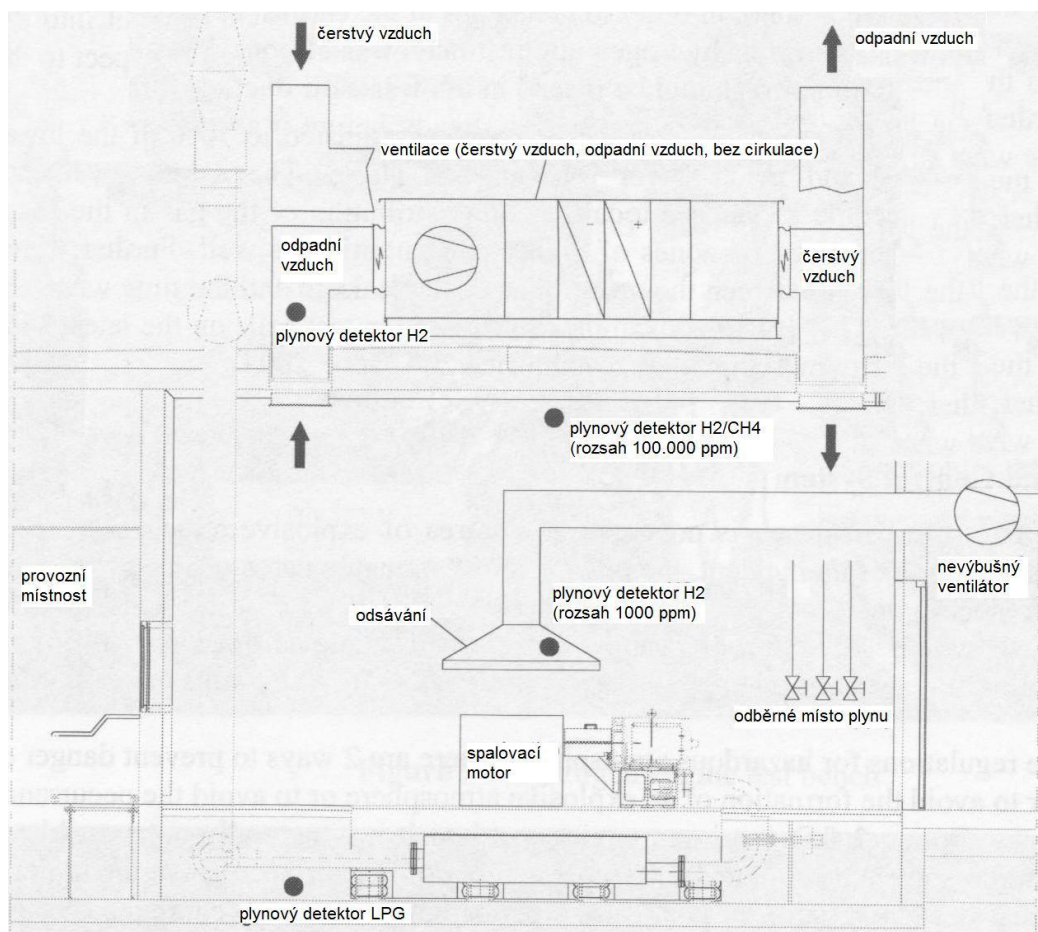
2.4.2. Laboratoř se systémem havarijním a jemu předřazeným

Jde o spojení dvou na sobě nezávislých systémů. Kromě výše popsaného havarijního systému je do laboratoře nainstalován ještě jeden systém, který je havarijnímu předřazen. Ten na přítomnost plynu ve vzduchu zareaguje dříve a to díky citlivěji nastaveným detektorům (většinou do 2,5% DMV). Předřazený systém po své aktivaci spustí poplach (zvukový, světelný), který upozorní obsluhu laboratoře na

hrozící nebezpečí. Obsluha je tedy o úniku informována dostatečně brzy a může na něj patřičně zareagovat. Některé předřazené systémy zajistí uzavření přívodu plynu automaticky (pomocí elektromagnetického ventilu na odběrném místě). Předřazené systémy mohou o úniku paliva informovat a současně se podílet na odsávání uniklého plynu. Jestliže obsluha nezareaguje na únik paliva a předřazené zařízení nebude stačit k jeho odsávání, koncentrace plynu na zkušebně poroste a dojde ke spuštění havarijního systému. Instalovaný předřazený systém může být stacionární nebo mobilní.

Tab. 4: Hodnoty pro nastavení detektorů bezpečnostních systémů [4]

Typ systému (koncentrace)	Hodnota odpovídající příslušné koncentraci [ppm]		
	Vodík	LPG	CNG
Havarijní (10 – 20% DMV)	4000-8000	1500-3000	4400-8800
Předřazený (do 2,5% DMV)	1000	375	1100



Obr. 2: Schéma možného uspořádání odsávacího systému zkušebny plynových motorů [4]

2.5. Mobilní odsávací zařízení

Na některých pracovištích, kde je manipulováno s výbušnými plyny, je nutné zajistit mobilitu odsávacího zařízení, aby s ním bylo možné pohybovat po pracovišti nebo ho mezi nimi přemísťovat. Podle možností pracovního prostoru se liší jednotlivá provedení mobilních odsávacích zařízení. Obvykle je používáno zařízení ukotvené ke zdi či stropu nebo vozík s kolečky pohybující se po podlaze. Každé z těchto provedení může mít vlastní odsávací jednotku (ventilátor) nebo může být napojeno na centrální odsávací systém. O nasátí plynu se starají odsávací prvky, jejichž pohyb je vykonán elektronicky nebo obsluhou. Nejčastěji se používají tyto odsávací prvky:

Odsávací digestoř	Odsávací rameno	Odsávací hadice s nátrubkem
		

Obr. 3: Možnost provedení jednotlivých odsávacích prvků [7]

2.5.1. Odsávání ukotvené ke zdi

Jedná se o konzolu připevněnou ke zdi, na které je upevněný jeden z uvedených odsávacích prvků. Mobilitu zajišťuje pohyb konzoly kolem čepu nebo pohyb odsávacího prvku po posuvném vedení na konzole. Tyto pohyby mohou být kombinovány (obr. 4, obr. 5).

2.5.2. Odsávání ukotvené ke stropu

a) Odsávací zařízení je zavěšeno ke stropu pomocí řetězu nebo lanka s karabinou, díky které ho lze odpojit a přemístit na jiné místo opatřené závěsy (viz. Obr. 3 – odsávací digestoř).

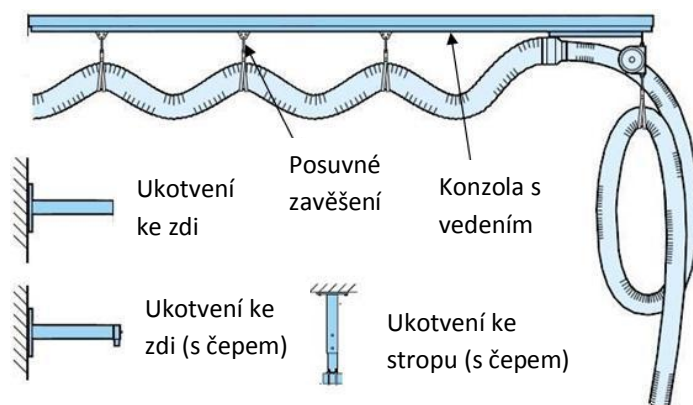
b) Ke stropu je připevněné vedení (profil, kolejnička), po kterém se může odsávací zařízení pohybovat (obr. 4, obr. 5).

c) Ke stropu je připevněné odsávací rameno nebo buben s navinutou odsávací hadicí (obr. 6).

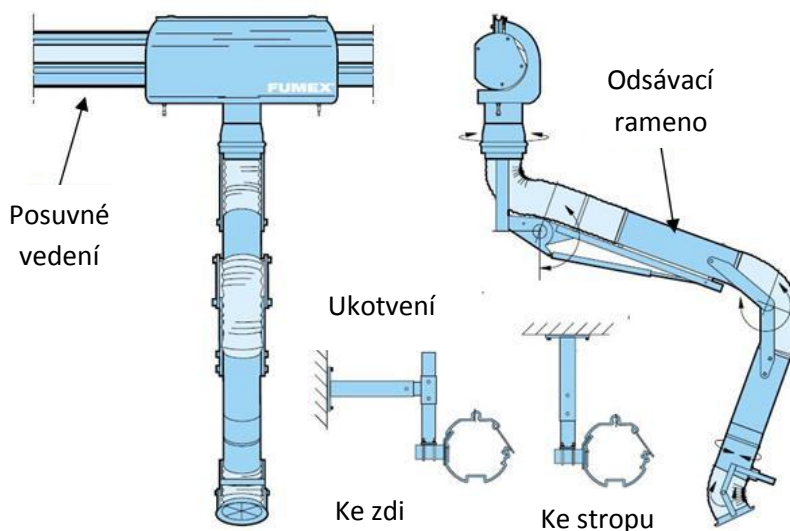
2.5.3. Pojízdný odsávací vozík

Vozík je opatřen kolečky, která zajišťují mobilitu celého zařízení. K vozíku může být upevněné odsávací rameno či hadice, díky čemuž dosáhneme ještě snadněji požadované polohy pro odsávání (obr. 7).

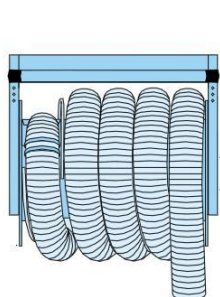
2.5.4. Ukázky provedení mobilních odsávacích zařízení



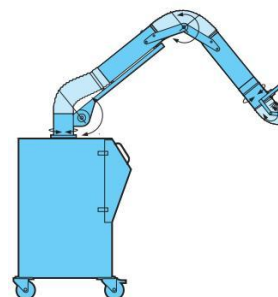
Obr. 4: Konzola s posuvným vedením a odsávací hadicí [8]



Obr. 5: Odsávací rameno na posuvném vedení [8]



Obr. 6: Buben s odsávací hadicí [8]



Obr. 7: Mobilní vozík s odsávacím ramenem [8]

3. KONSTRUKCE VLASTNÍHO NÁVRHU

3.1. Požadavky na konstrukci

Rozměry a provedení odsávacího zařízení, jsou navrženy s ohledem na požadavky obsluhy laboratoře a na zástavbový prostor. Tyto požadavky na navrhované zařízení jsou uvedeny v Tab. 5. Jednotlivá konstrukční řešení budou popsána podrobněji dále v práci.

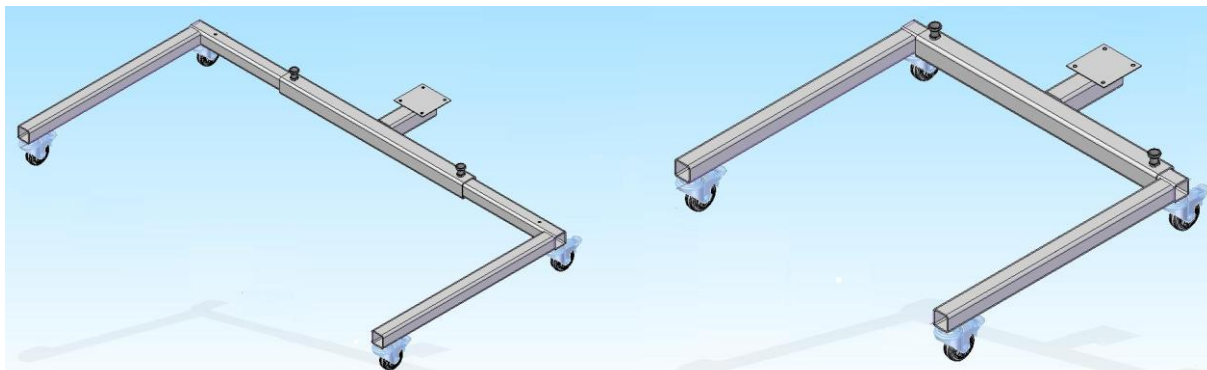
Tab. 5: Konstrukční řešení požadavků na odsávací zařízení

Požadavek/nárok	Konstrukční řešení
Mobilita	Podvozek opatřený kolečky
Odsátí prostoru nad motorem	Digestoř opatřená pojezdem
Odsátí prostoru pod motorem	Teleskopické, výškově a úhlově stavitelné rameno s odnímatelnou hadicí opatřenou nátrubkem
Výšková stavitelnost	Výškově stavitelný (teleskopický) sloup
Zařízení se musí nacházet mimo pracovní desku s motorem	Stavitelný rozchod koleček (podvozku)
Skladovací pozice	Stavitelný rozchod podvozku, výškově stavitelný stojan, posuvná digestoř, odnímatelná část ramene nesoucího digestoř
Průchodnost vraty	Rozměry konstrukce; transportní poloha

3.2. Konstrukce podvozku

Podvozek je sestaven z ocelových bezešvých trubek čtvercového průřezu, které disponují dostatečnými mechanickými vlastnostmi vůči namáhání, které na podvozek působí. Pevné spoje, nacházející se na podvozku, jsou realizovány svary. Aby byla zajištěna mobilita celého zařízení, je podvozek vybaven 4 otočnými kladkami s brzdou. Díky kladkám lze se zařízením snadno manipulovat a aretovat ho v požadované poloze. Dále je podvozek opatřen nastavitelným rozchodem kladek, který umožňuje nastavení podvozku do dvou poloh, jejichž aretace je zajištěna pružinovým pístkem. Jedná se o polohu pracovní, kdy je rozchod nastaven tak, aby se zařízení nacházelo mimo desku, na níž je upnutý motor. Poloha druhá je skladovací a zároveň transportní. Díky druhé poloze je zajištěn snadný průjezd stísněnými místy (vraty, chodbou) a zařízení v této poloze zabere mnohem menší skladovací prostor. Na podvozku se také nachází držák pro připevnění ventilátoru.

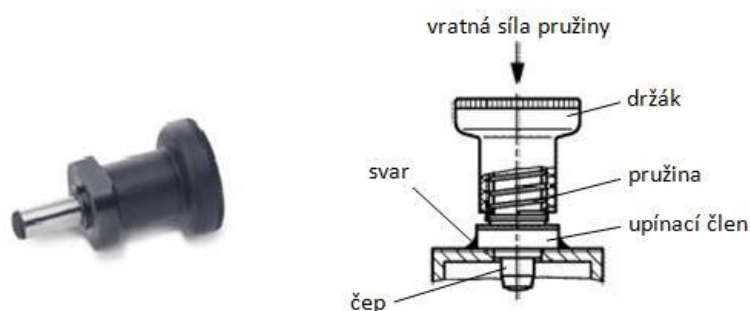
Tato konstrukce zajišťuje vysokou stabilitu zařízení v pracovní i transportní poloze a zároveň splňuje všechny požadavky, které jsou na podvozek kladeny. Svařence podvozku lze nalézt na výkresech sestav A3-KVM-BP-275-01 a A3-KVM-BP-275-02.



Obr. 8: Model podvozku v pracovní (vlevo) a transportní (vpravo) poloze
[vytvořeno autorem]

3.3. Pružinový pístek

Pro aretaci podvozku v jednotlivých polohách byl zvolen pružinový pístek. Jedná se o jednoduchý mechanismus skládající se z pružiny, upínacího členu, rukojeti a čepu. Pružina zajišťuje automatický návrat čepu do výchozí polohy. Pístek je k podvozku přivařen. Tato součástka byla vybrána z katalogu firmy ELESA+GANTER s.r.o. Podrobný technický popis lze nalézt v katalogu pod označením GN 607.4.



Obr. 9: Fotka a schéma pružinového pístku [10]

3.4. Pojezdová kolečka

Kolečka byla zvolena s ohledem na jejich maximální zatížení, v pracovní i transportní poloze. Dále bylo nutno zajistit aretaci zařízení v požadované poloze a co nejlepší ovladatelnost zařízení při přesunu. Z těchto důvodů byly zvoleny otočné kladky opatřené brzdou. Kladky byly vybrány ze sortimentu firmy Blicke. Podrobný

popis a rozměry kladek lze nalézt pod uvedeným objednávacím číslem na www.blickle.cz.

Tab. 6: Technická specifikace zvolených kladek [9]

Název (objednávací číslo)	konzoly	Běhoun	Průměr kola [mm]	Šířka kola [mm]	Únosnost [mm]	Druh ložiska	Výška kladky [mm]
LEXR-VPP 80G-SG-FI	Nerezová ocel	Plná guma	80	25	50	kluzné	102



Obr. 10: Použitá kladka [9]

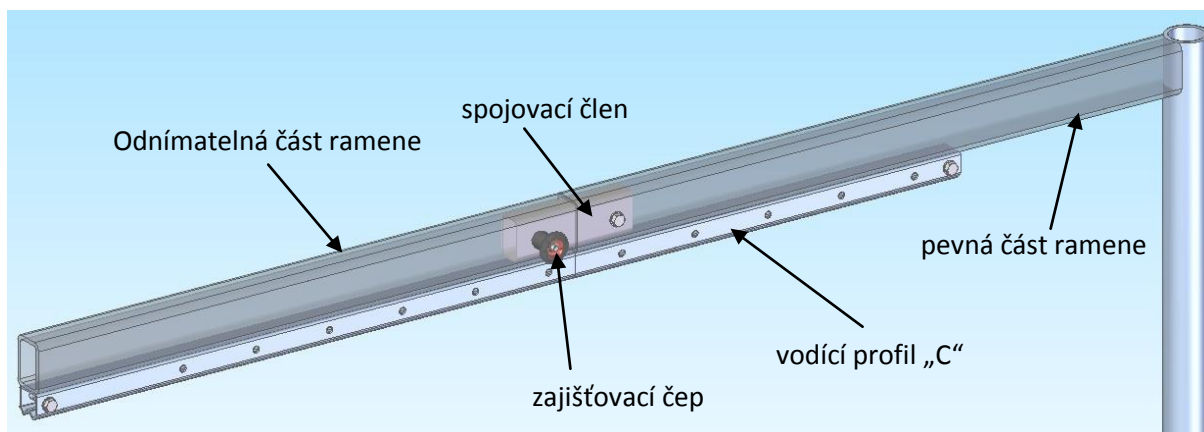
3.5. Teleskopický sloup

Skládá se ze dvou ocelových bezešvých trubek rozdílného průměru, které se do sebe zasouvají. Trubka většího průměru je s podvozkem spojena svarem, je tedy nepohyblivá a slouží jako náboj pro trubku menšího průměru (obr. 12). Trubka s menším průměrem je opatřena otvory, díky nimž lze nastavit výšku do devíti poloh odstupňovaných od sebe po 50 mm. Výška digestoře se tedy pohybuje v rozsahu 1400 až 1800 mm od země. Jednotlivé polohy jsou aretovány zajišťovacím čepem (katalog ELESA+GANter, označení GN 113.6), který se nachází ve výšce 1320mm od země. V této výšce může obsluha snadno manipulovat s pohyblivou částí sloupu. Jde o jednoduché, levné a efektivní řešení.

3.6. Dělitelné rameno nesoucí digestoř

Je složeno ze dvou bezešvých trubek čtvercového průřezu, které zaručí přijatelný průhyb ramene způsobený zavěšenou digestoří. Tyto trubky jsou spolu spojeny pomocí spojovacího členu, což je trubka o menších rozměrech zasunutá uvnitř ramene. Spojovací člen je na jedné straně spojen s ramenem napevno šroubovým spojem. Na straně druhé zajišťovacím čepem, pomocí kterého lze rameno rychle a

snadno rozdělit. Díky dělitelnosti ramene zabere zařízení mnohem menší skladovací prostor. Rameno je připevněno k teleskopickému sloupu svařem. Ke spodní straně ramene je přivařen vodící profil „C“, po němž se pohybuje zavěšená digestoř. Svařence ramene lze nalézt na výkresech A3-KVM-BP-275-05 a A3-KVM-BP-275-06.



Obr. 11: Model dělitelného ramene [vytvořeno autorem]

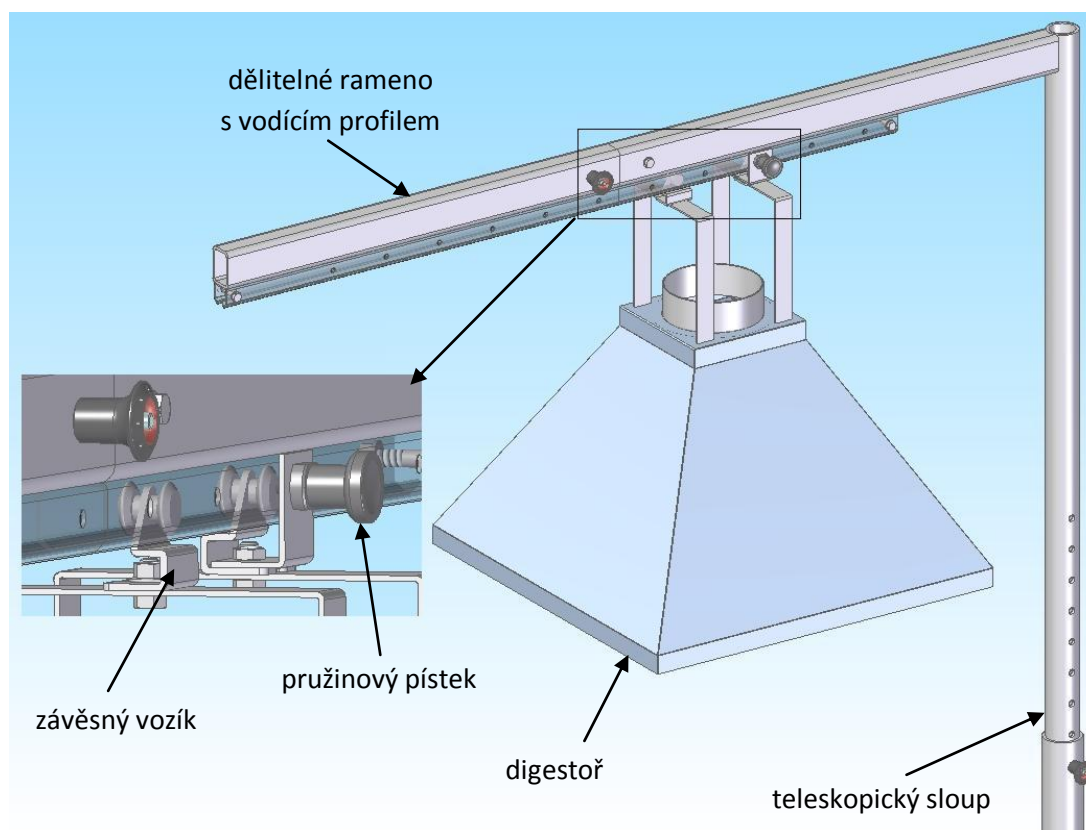
3.7. Konstrukce digestoře

Digestoř je vyrobena z plechu z nerezové oceli 17 246, která je vhodná pro svařování. Tento materiál byl zvolen kvůli svým vlastnostem a kvůli dosažení požadovaného vzhledu digestoře. Tloušťka plechu je 1mm, což je dostačující vzhledem k tomu, že digestoř není nijak namáhána. Byl navržen tvar běžné průmyslové digestoře. Skládá se ze 4 dílů, z toho 3 díly jsou identické. K dosažení požadovaného tvaru digestoře jsou díly po vystříhání z plechu ohýbány a svařeny spolu dohromady. V horní části jsou k digestoři přivařeny 2 závěsy a zakoupená kruhová příruba, ke které je připojena odsávací hadice. Díky odvodu vzduchu horní částí digestoře je dosaženo nejlepšího možného proudění vzduchu. Digestoř je zavěšena na posuvném vedení. Výkres sestavy digestoře A3-KVM-BP-275-07.

3.8. Posuvné vedení digestoře

Aby bylo možné nastavit zařízení do skladovací polohy a bylo zajištěno pokrytí prostoru, ve kterém má být zařízení schopno odsávat uniklý plyn, je digestoř vybavena posuvným vedením. Tím je „C“ profil přivařený k nosnému rameni digestoře, po němž se pohybuje závěsný vozík, ke kterému je šroubovým spojem připevněna digestoř. V „C“ profilu je vyvrtáno jedenáct otvorů s roztečí 95mm. Jeden ze závěsných vozíků je opatřen pružinovým pístkem, díky kterému je možno nastavit

digestoř do jedné z jedenácti poloh. Digestoř se tedy může pohybovat v rozsahu 435 až 1385mm (po 95mm) od osy teleskopického sloupu. Na obou koncích „C“ profilu je šroubový spoj, který zabraňuje vozíku opustit vodící profil. Vodící profil „C“ a závěsný vozík je vybrán ze sortimentu internetového obchodu www.kovopolotovary.cz.

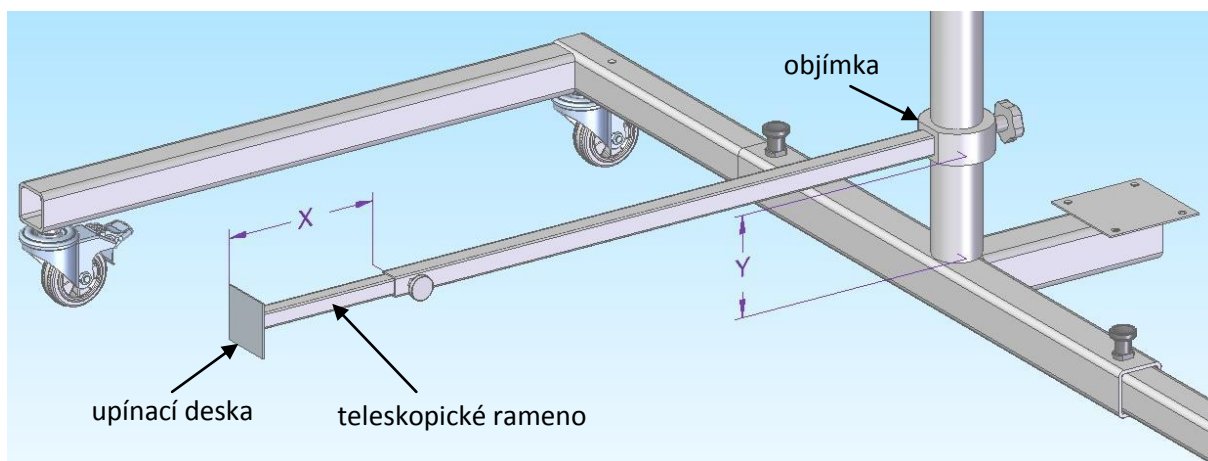


Obr. 12: Model digestoře, posuvného vedení a teleskopického sloupu [vytvořeno autorem]

3.9. Rameno umožňující odsátí prostoru pod motorem

Toto teleskopické rameno se skládá ze dvou bezešvých trubek čtvercového průřezu. Větší z trubek je opatřena šroubem s rýhovanou hlavou, díky kterému je možné nastavit výsuvné rameno do libovolné polohy v rozmezí 800 až 1500mm od osy teleskopického sloupu. Označení maximálního vysunutí ramene je provedeno barevnou značkou. Rameno je spojeno svarem s objímkou nasunutou na nepohyblivé části teleskopického sloupu. Součástí objímky je šroub s hvězdicovou hlavou (katalog ELES+GANter, označení GN 5334), kterým je realizováno nastavení výšky (libovolně v rozsahu 190 až 1300 mm od země) a natočení ramene. Úhel natočení ramene okolo stojanu je dostačující k pokrytí celého pracovního prostoru. K výsuvné části ramene je na konci přivařena deska z plechu, na kterou je magnetem upnut odsávací nátrubek s hadicí. Jelikož prostor pod motorem je velice

stísněný a špatně dostupný, mohlo by se stát, že stavitelnost ramene nebude dostačující pro dosažení požadované polohy. V tomto případě lze snadno odejmout nátrubek s magnetem z ramene a umístit ho na místo pod motorem, které bude pro odsávání optimální. Díky magnetu je možné nátrubek upnout na držák motoru či na vyrobený přípravek, jež se vejde do prostoru pod motorem. Výkresy svarků ramene A4-KVM-BP-275-03 a A4-KVM-BP-275-04.



Obr. 13: Model teleskopického ramene [vytvořeno autorem]

3.10. Vzduchotechnické prvky

Veškeré vzduchotechnické prvky použité na zařízení jsou díly zakoupené (kromě digestoře). Uvedené komponenty jsou vybrány ze sortimentu internetového obchodu <http://www.ventilatory-shop.cz>.

O odsávání vzduchu se stará nevýbušný ventilátor MIXVENT TD 800/200 Ex pro kruhová potrubí, který má dostatečný výkon pro účel použití (viz. kap. 5).

Možné zapojení vzduchotechniky je zobrazeno na schématu v příloze P1.

Tab. 6: Funkce vzduchotechnických prvků

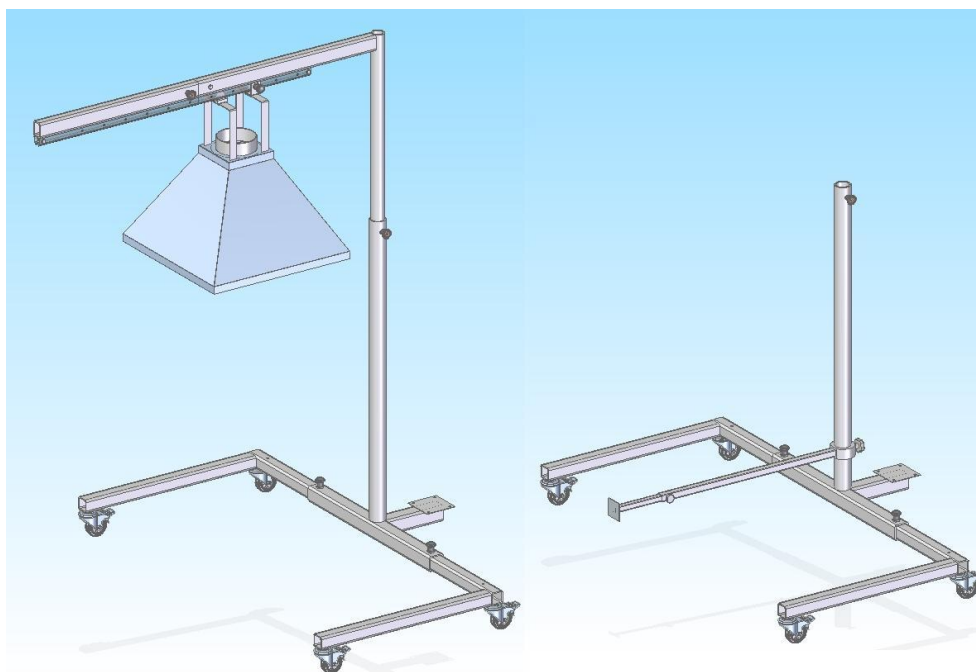
Vzduchotechnický prvek	Funkce
Příruba na digestoři	Spojení digestoře s odsávací hadicí.
Kovový osový přechod 200/150	Připojení odsávací hadice (průměr 150mm) na ventilátor (průměr 200mm).
Kovová rozbočka T	Spojení odsávacích členů s ventilátorem.
Uzavírací klapka s kovovým ovládáním	Slouží k uzavření odsávání z digestoře nebo z nátrubku pod motorem.
Kovová objímka s gumou	Upnutí T rozbočky k rámu zařízení.
Kruhová odsávací hadice o průměru 150mm	Propojení vzduchotechnických komponent
Ocelová páska se sponou	Připevnění odsávací hadice k jednotlivým prvkům.

Tab. 7: Technické parametry ventilátoru MIXVENT TD 800/200 Ex [11]

Otáčky [min ⁻¹]	Průtok [min ³ /hod]	Příkon [W]	Napětí [V]	Proud [A]	Hmotnost [kg]	Φ potrubí [mm]
2450	1020	130	230	0,54	5	200

3.11. Možnosti odsávání

Navrženým zařízením lze odsávat lehké (H₂, CNG) i těžké (LPG) plyny současně. Konstrukce však umožňuje přizpůsobit zařízení pro odsávání pouze lehkých či pouze těžkých plynů. Je-li na zkušebně používáno pouze LPG, lze odstranit vrchní část zařízení (obr. 15 vpravo), která není využívána. Pokud se na zkušebně nachází motor spalující CNG či H₂, lze odstranit nevyžívané spodní rameno (obr. 15 vlevo). Při obou možnostech je nutné uzavřít klapku, která zabrání odsávání z demontované větve. Poslední možností je zařízení nerozebírat a odsávání lehkého či těžkého plynu nastavovat pouze pomocí uzavírací klapky.



Obr. 14: Model zařízení pro odsátí pouze lehkých (vlevo) a pouze těžkých (vpravo) plynů [vytvořeno autorem]

Sestavu navrženého mobilního odsávacího zařízení je možné nalézt na přiloženém výkresu A0-KVM-BP-275-00.

4. Výpočty navrženého konstrukčního řešení

4.1. Zatížení pojezdových koleček, výpočet stability

Zadané hodnoty:

$$G_1=90\text{N}$$

$$G_2=19,2\text{N}$$

$$G_3=91,2\text{N}$$

$$G_4=251,6\text{N}$$

$$G_5=81,8\text{N}$$

$$G_6=50\text{N}$$

$$l_1=1400\text{mm}$$

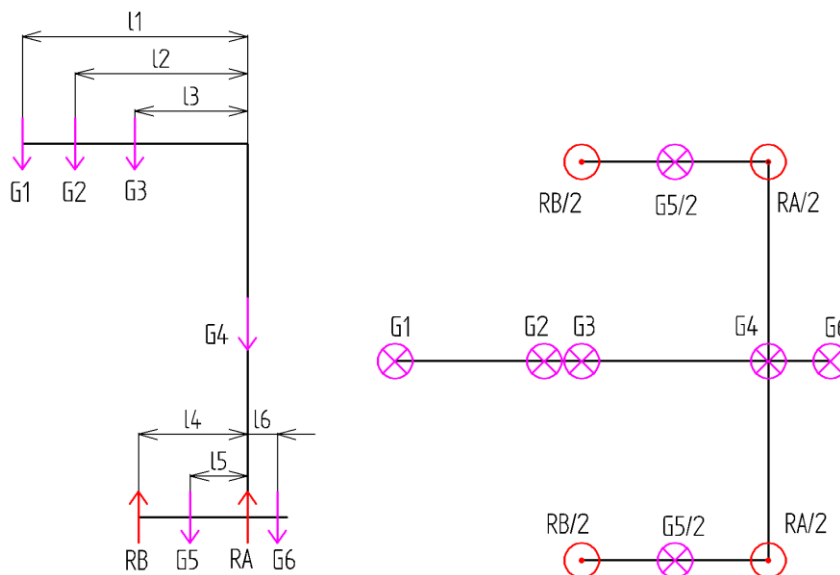
$$l_2=900\text{mm}$$

$$l_3=750\text{mm}$$

$$l_4=750\text{mm}$$

$$l_5=400\text{mm}$$

$$l_6=247,5\text{mm}$$



Obr. 15: Schéma zatížení - nárys (vlevo), půdorys (vpravo)
[vytvořeno autorem]

Výpočet:

$$y \uparrow: R_A + R_B - G_1 - G_2 - G_3 - G_4 - G_5 - G_6 = 0 \quad (1)$$

$$\curvearrowright M_A: R_B \cdot l_4 - G_1 \cdot l_1 - G_2 \cdot l_2 - G_3 \cdot l_3 - G_5 \cdot l_5 + G_6 \cdot l_6 = 0 \quad (2)$$

$$R_B = \frac{G_1 \cdot l_1 + G_2 \cdot l_2 + G_3 \cdot l_3 + G_5 \cdot l_5 - G_6 \cdot l_6}{l_4} \quad (3)$$

$$R_A = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 - R_B \quad (4)$$

a) Digestoř se nachází ve vzdálenosti $a=1400\text{mm}$ od teleskopického sloupu

$$R_B = \frac{90 \cdot 1400 + 19,2 \cdot 900 + 91,2 \cdot 750 + 81,8 \cdot 400 - 50 \cdot 247,5}{750} = 309,4\text{N}$$

$$R_A = 90 + 19,2 + 91,2 + 251,6 + 81,8 + 50 - 309,4 = 274,4\text{N}$$

$$\frac{R_B}{2} = \frac{309,4}{2} = 154,7\text{N} \quad (5)$$

$$\frac{R_A}{2} = \frac{274,4}{2} = 137,1\text{N} \quad (6)$$

b) Digestoř se nachází ve vzdálenosti $a=435$ mm od teleskopického sloupu

$$R_B = \frac{90 \cdot 435 + 19,2 \cdot 900 + 91,2 \cdot 750 + 81,8 \cdot 400 - 50 \cdot 247,5}{750} = 193,6N$$

$$R_A = 90 + 19,2 + 91,2 + 251,6 + 81,8 + 50 - 193,6 = 390,2N$$

$$\frac{R_B}{2} = \frac{193,6}{2} = 96,8N$$

$$\frac{R_A}{2} = \frac{390,2}{2} = 195,1N$$

Z výsledků (a), kdy se zařízení nachází v nejvíce vratké poloze, je vidět, že zařízení nemá tendenci se převracet ani v této kritické poloze. Kontrolu na boční převrácení není nutné provádět, jelikož zařízení je symetrické a disponuje dostatečným rozchodem pojezdových koleček v transportní i pracovní poloze. Navržené **zařízení je stabilní**.

Výsledky (b) kdy se zařízení nachází v transportní poloze, hrají roli pouze pro stanovení únosnosti pojezdových koleček.

Minimální únosnost koleček v místě:

A $C_A=19,5\text{kg}$

B $C_B=15,5\text{kg}$

Únosnost navržených koleček:

$C=50\text{kg}$

$C > C_A; C_B$

Únosnost navržených koleček je vyšší než únosnost minimální => **kolečka vyhovují**.

4.2. Pevnostní výpočty

Kontrolovány budou významněji namáhané komponenty. Díly zařízení jsou namáhány téměř ve všech případech ohybovým momentem. Veškeré výpočty jsou provedeny pro maximální možné namáhání, kterého lze dosáhnout nastavením pohyblivých prvků zařízení.

U všech dílů je zvolena požadovaná bezpečnost $k_p=2$. Díly jsou vyrobeny z oceli 11 523, která disponuje uvedeným mechanickými vlastnostmi:

$$E=2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$R_{\text{emin}}=333\text{MPa}$$

$$\sigma_{Dov} = \frac{R_e}{k_p} = \frac{333}{2} = 166,5\text{MPa} \quad (7)$$

4.2.1. Ohyb ramene nesoucího digestoř

Zadané hodnoty:

$$l_7 = 1500 \text{ mm}$$

$$l_8 = 120 \text{ mm}$$

$$l_9 = 480 \text{ mm}$$

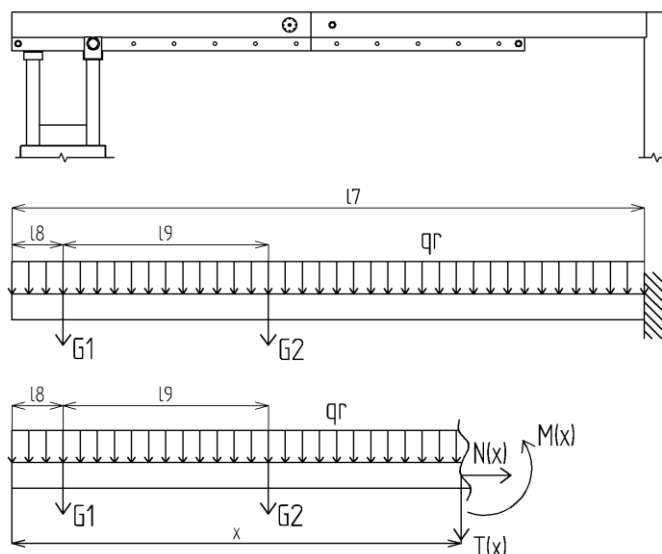
$$G_1 = 90 \text{ N}$$

$$G_2 = 19,2 \text{ N}$$

$$q_{rd} = 60,8 \text{ N/m}$$

$$J_{y1} = 377\,318 \text{ mm}^4$$

$$W_{o1} = 12\,577 \text{ mm}^3$$



Obr. 16: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

Výpočet:

Pro zjištění hodnot maximálního ohybového momentu a průhybu je významný vnitřní silový účinek $M(x)$.

$$0 \leq x \leq l_7$$

$$M(x) = -G_1 \cdot (x - l_8) - G_2 \cdot (x - l_8 - l_9) - \frac{q_{rd} \cdot x^2}{2} \quad (8)$$

$$w''(x) = -\frac{M(x)}{E \cdot J_{y1}} = \frac{1}{E \cdot J_{y1}} \cdot \left(\frac{q_{rd} \cdot x^2}{2} + x \cdot (G_1 + G_2) - l_8 \cdot (G_1 + G_2) - l_9 \cdot G_2 \right) \quad (9)$$

$$w'(x) = \frac{1}{E \cdot J_{y1}} \cdot \left(\frac{q_{rd} \cdot x^3}{6} + \frac{x^2}{2} \cdot (G_1 + G_2) - l_8 \cdot (G_1 + G_2) \cdot x - l_9 \cdot G_2 \cdot x + c_1 \right) \quad (10)$$

$$w(x) = \frac{1}{E \cdot J_{y1}} \cdot \left(\frac{q_{rd} \cdot x^4}{24} + \frac{x^3}{6} \cdot (G_1 + G_2) - l_8 \cdot (G_1 + G_2) \cdot \frac{x^2}{2} - l_9 \cdot G_2 \cdot \frac{x^2}{2} + c_1 \cdot x + c_2 \right) \quad (11)$$

Z okrajových podmínek

$$w'(l_7) = 0 \Rightarrow c_1 = -\frac{q_{rd} \cdot l_7^3}{6} - \frac{l_7^2}{2} \cdot (G_1 + G_2) + l_7 \cdot (l_9 \cdot G_2 + l_8 \cdot (G_1 + G_2)) \quad (12)$$

$$w(l_7) = 0 \Rightarrow$$

$$c_2 = \frac{q_{rd} \cdot l_7^4}{8} + \frac{l_7^3}{3} \cdot (G_1 + G_2) + \frac{l_7^2}{2} \cdot (l_8 \cdot (G_1 + G_2) + l_9 \cdot G_2 - 2(l_9 \cdot G_2 + l_8 \cdot (G_1 + G_2))) \quad (13)$$

$$w_{max} = w(0) = \frac{1}{E \cdot J_{y1}} \cdot c_2 \quad (14)$$

Dosazení a výsledky:

$$w_{\max} = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 377318} \cdot \left(\frac{60,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1500^4}{8} + \frac{1500^3}{3} \cdot (90 + 19,2) + \frac{1500^2}{2} \cdot (120 \cdot (90 + 19,2) + 480 \cdot 19,2 - 2 \cdot (19,2 \cdot 480 + 120 \cdot (90 + 19,2))) \right)$$

$$w_{\max} = 1,72 \text{ mm}$$

Hodnota maximálního průhybu je přijatelná.

$$M(l_7) = M_{\max} = -90 \cdot (1500 - 120) - 19,2 \cdot (1500 - 120 - 480) - \frac{60,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1500^2}{2}$$

$$M_{\max} = -209,9 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{o1}} = -\frac{209900}{12577} = -16,7 \text{ MPa} \quad (15)$$

$$|\sigma_{\max}| < \sigma_{Dov}$$

$$16,7 \text{ MPa} < 166,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.2.2. Ohyb teleskopického sloupu

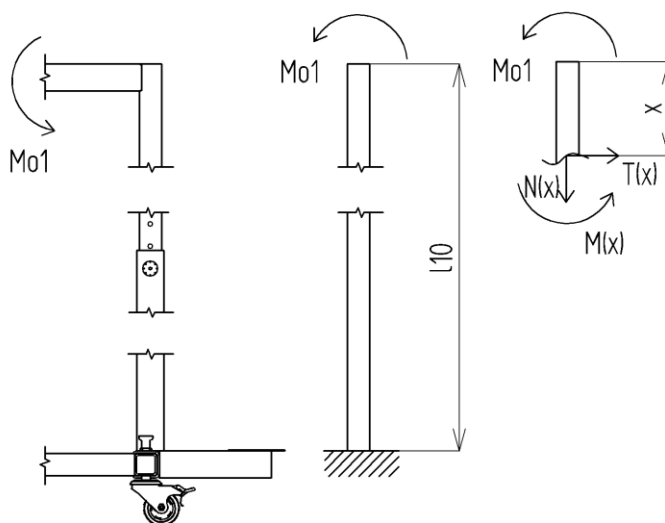
Zadané hodnoty:

$$M_{o1} = 209,9 \text{ Nm}$$

$$l_{10} = 2350 \text{ mm}$$

$$W_{o2} = 6723,5 \text{ mm}^3$$

$$J_{y2} = 168\,087 \text{ mm}^4$$



Výpočet:

Obr. 17: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

$$0 \leq x \leq l_{10}$$

$$M(x) = -M_{o1} \quad (16)$$

$$w''(x) = -\frac{M(x)}{E \cdot J_y} = \frac{M_{o1}}{E \cdot J_{y2}} \quad (17)$$

$$w'(x) = \frac{M_{o1}}{E \cdot J_{y2}} \cdot (x + c_1) \quad (18)$$

$$w(x) = \frac{M_{o1}}{E \cdot J_{y2}} \cdot \left(\frac{x^2}{2} + c_1 \cdot x + c_2 \right) \quad (19)$$

$$w_{max} = w(0) = \frac{M_{o1} \cdot l_{10}^2}{2 \cdot E \cdot J_{y2}} \quad (20)$$

Z okrajových podmínek

$$w'(l_{10}) = 0 \Rightarrow c_1 = -l_{10} \quad (21)$$

$$w(l_{10}) = 0 \Rightarrow c_2 = \frac{l_{10}^2}{2} \quad (22)$$

Dosazení a výsledky:

$$w_{max} = \frac{209900 \cdot 2350^2}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 168087} = 16,42mm \Rightarrow \text{Průhyb je přijatelný.}$$

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{o1}}{W_{o2}} = \frac{209900}{6723,5} = 31,2MPa \quad (23)$$

$$\sigma_{omax} \leq \sigma_{Dov}$$

$$31,2MPa \leq 166,5MPa \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ohyb sloupu bude ve skutečnosti menší, protože výpočet byl proveden pro jednotný (menší) průřez sloupu.

4.2.3. Kontrola podvozku na krut

Zadané hodnoty:

$$l_{11}=1500mm$$

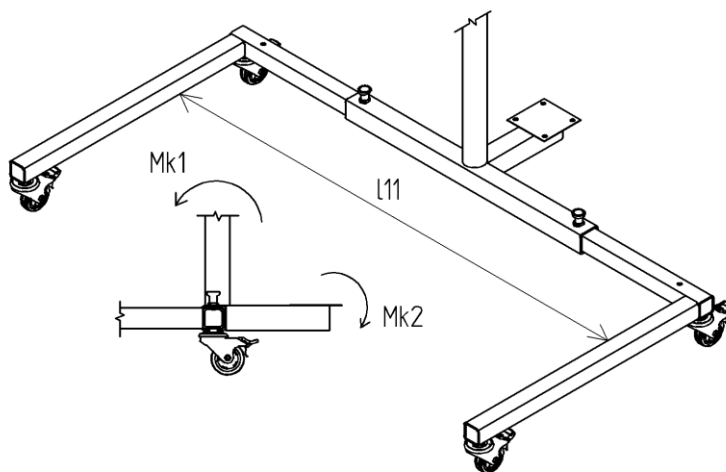
$$M_{k1}=209,9Nm$$

$$M_{k2}=12,4Nm$$

$$W_k=17\,700mm^3$$

$$J_p=442\,500,9mm^4$$

$$G=8,1 \cdot 10^5 MPa$$



Výpočet:

Obr. 18: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk} \quad (24)$$

$$\tau_k = \frac{M_{k1} - M_{k2}}{W_k} = \frac{209900 - 12400}{17700} = 11,2MPa \quad (25)$$

$$\tau_{Dovk} = 0,63 \cdot \sigma_{Dt} = 0,63 \cdot \frac{R_e}{k_p} = 0,63 \cdot \frac{333}{2} = 104,9 \text{ MPa} \quad (26)$$

$$\tau_k < \tau_{Dovk}$$

$$11,2 \text{ MPa} < 104,9 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l_{11}}{2 \cdot G \cdot J_p} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{(209900 - 12400) \cdot 1500}{2 \cdot 81000 \cdot 442500,9} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,236^\circ \quad (27)$$

Úhel zkroucení φ je přijatelný.

4.2.4. Výsledný posun konce ramene nesoucího digestoř

Přibližný posun konce ramene je možné spočítat pomocí elementární geometrie. Tento výpočet je pouze orientační a od hodnoty skutečné se liší, neboť celý problém je zde značně zjednodušen. Pro přesný výpočet lze použít například metodu konečných prvků (FEM).

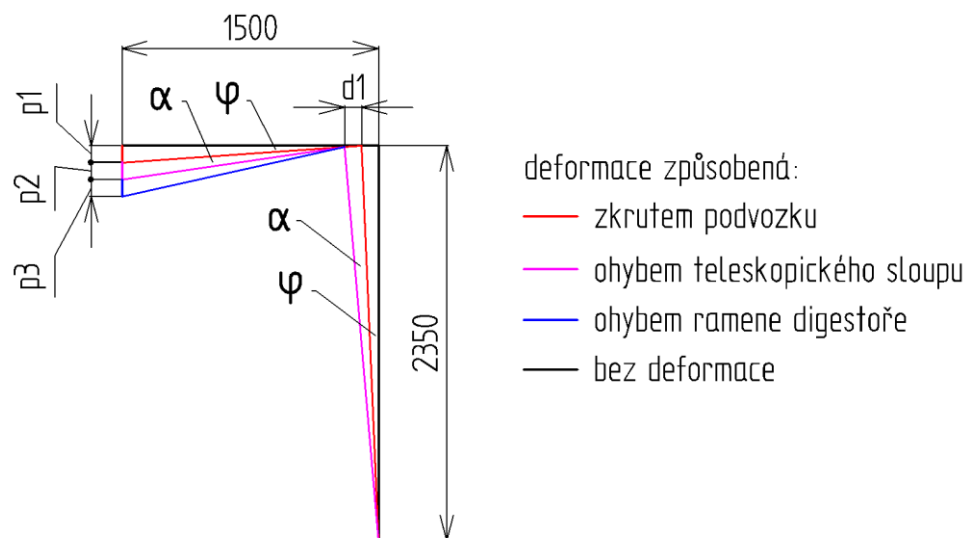
Výsledný posun se skládá z dílčích posunů způsobených deformacemi spočtenými v předešlých kapitolách.

Zadáno:

$$d_1 = 16,42 \text{ mm}$$

$$p_3 = 1,72 \text{ mm}$$

$$\varphi = 0,236^\circ$$



Obr. 19: Posun ramene digestoře [vytvořeno autorem]

1. Posun způsobený zkrutem podvozku (kapitola 4.2.3)

$$p_1 = 1500 \cdot \tan \varphi = 1500 \cdot \tan 0,236 = 6,18 \text{ mm} \quad (28)$$

2. Posun způsobený ohybem teleskopického sloupu (kapitola 4.2.2)

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d_1}{2350} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{16,42}{2350} \right) = 0,4^\circ \quad (29)$$

$$p_2 = 1500 \cdot \sin \alpha = 1500 \cdot \sin 0,4 = 10,47 \text{ mm} \quad (30)$$

3. Posun způsobený ohybem ramene digestoře (kapitola 4.2.1)

$$p_3 = 1,72\text{mm}$$

Celkový posun

$$p_{celk} = p_1 + p_2 + p_3 = 6,18 + 10,47 + 1,72 = 18,37\text{mm} \quad (31)$$

U navrženého zařízení není kladen důraz na vysokou přesnost. Spočtenou hodnotu lze tedy označit za přijatelnou.

4.2.5. Kontrola napětí na spojovacím členu ramene nesoucího digestoř

Zadané hodnoty:

$$l_8 = 120\text{mm}$$

$$l_{12} = 700\text{mm}$$

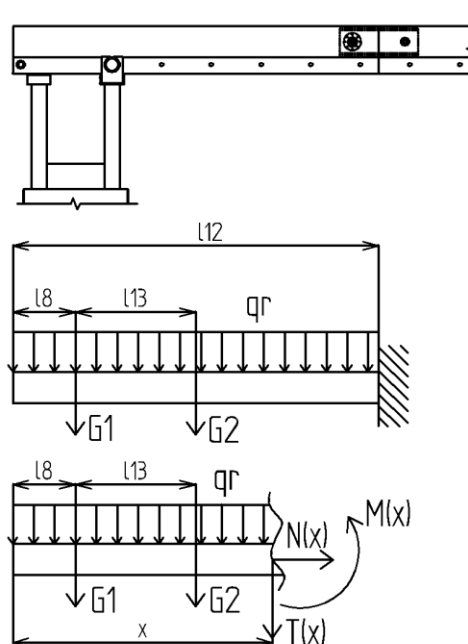
$$l_{13} = 230\text{mm}$$

$$G_1 = 90\text{N}$$

$$G_2 = 11,2\text{N}$$

$$q_{rd} = 60,8\text{N/m}$$

$$W_{o3} = 5\,685,3\text{mm}^3$$



Obr. 20: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

Výpočet:

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{W_{o3}} = \frac{-G_1 \cdot (l_{12} - l_8) - G_2 \cdot (l_{12} - l_8 - l_{13}) - \frac{q_{rd} \cdot x^2}{2}}{W_{o3}} \quad (32)$$

Jde o stejný typ zatížení nosníku a tudíž je vzoreček pro M_{omax} stejný jako v kapitole 4.2.1.

$$\sigma_{omax} = \frac{-90 \cdot (700 - 120) - 11,2 \cdot (700 - 120 - 230) - \frac{60,8 \cdot 10^{-3} \cdot 700^2}{2}}{5685,3} = -12,5\text{MPa}$$

$$|\sigma_{omax}| \leq \sigma_{Dov}$$

$$12,5\text{MPa} \leq 166,5\text{MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.2.6. Ohyb držáku digestoře

Zadané hodnoty:

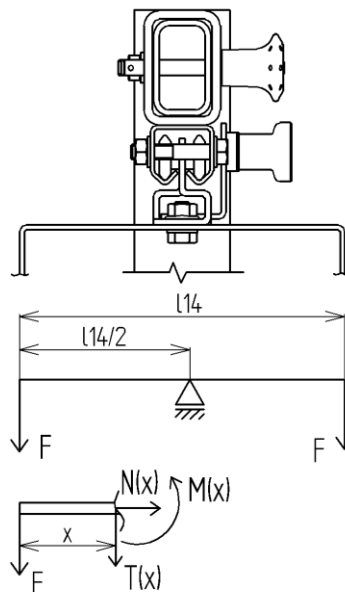
$$l_{14}=170\text{mm}$$

$$G_1=90\text{N}$$

$$F= G_1/4$$

$$J_{y4}=39\text{mm}^4$$

$$W_{o4}=31,25\text{mm}^3$$



Obr. 21: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

Výpočet:

Zatížení je symetrické. Stačí tedy spočítat $M(x)$ a maximální ohyb v prvním úseku a to pouze na jednom držáku.

$$0 \leq x \leq l_{14}/2$$

$$M(x) = -F \cdot x \quad (33)$$

$$w''(x) = -\frac{M(x)}{E \cdot J_y} = \frac{F \cdot x}{E \cdot J_{y4}} \quad (34)$$

$$w'(x) = \frac{1}{E \cdot J_{y4}} \cdot \left(\frac{F \cdot x^2}{2} + c_1 \right) \quad (35)$$

$$w(x) = \frac{1}{E \cdot J_{y4}} \cdot \left(\frac{F \cdot x^3}{6} + c_1 \cdot x + c_2 \right) \quad (36)$$

Z okrajových podmínek

$$w'\left(\frac{l_{14}}{2}\right) = 0 \Rightarrow c_1 = -\frac{F \cdot l_{14}^2}{8} \quad (37)$$

$$w\left(\frac{l_{14}}{2}\right) = 0 \Rightarrow c_2 = \frac{F \cdot l_{14}^3}{24} \quad (38)$$

$$w_{max} = w(0) = \frac{F \cdot l_{14}^3}{24 \cdot E \cdot J_{y4}} = \frac{\frac{G_1}{4} \cdot l_{14}^3}{24 \cdot E \cdot J_{y4}} \quad (39)$$

Dosazení a výsledky:

$$w_{max} = \frac{\frac{90}{4} \cdot 170^3}{24 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 39} = 0,56\text{mm} \Rightarrow \text{Hodnota maximálního průhybu je přijatelná.}$$

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{F \cdot l_{14}}{2 \cdot W_{o4}} = \frac{22,5 \cdot 170}{2 \cdot 31,25} 61,2 MPa \quad (40)$$

$$\sigma_{omax} \leq \sigma_{Dov}$$

$$61,2 MPa \leq 166,5 MPa \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.2.7. Ohyb podvozku v podélném směru

Zadané hodnoty:

$$l_{15} = 750 \text{ mm}$$

$$M_{o1} = 209,9 \text{ Nm}$$

$$M_{o2} = 12,4 \text{ Nm}$$

$$W_{o5} = 8485 \text{ mm}^3$$

$$J_{y5} = 261\,525 \text{ mm}^4$$

Výpočty:

$$0 \leq x \leq l_{15}$$

$$M(x) = \frac{M_o}{l_{15}} \cdot x \quad (41)$$

$$w''(x) = -\frac{M(x)}{E \cdot J_y} = -\frac{M_o}{E \cdot J_{y5} \cdot l_{15}} \cdot x \quad (42)$$

$$w'(x) = -\frac{M_o}{E \cdot J_{y5} \cdot l_{15}} \cdot \left(\frac{x^2}{2} + c_1 \right) \quad (43)$$

$$w(x) = -\frac{M_o}{E \cdot J_{y5} \cdot l_{15}} \cdot \left(\frac{x^3}{3} + c_1 \cdot x + c_2 \right) \quad (44)$$

Z okrajových podmínek

$$w(0) = 0 \Rightarrow c_2 = 0 \quad (45)$$

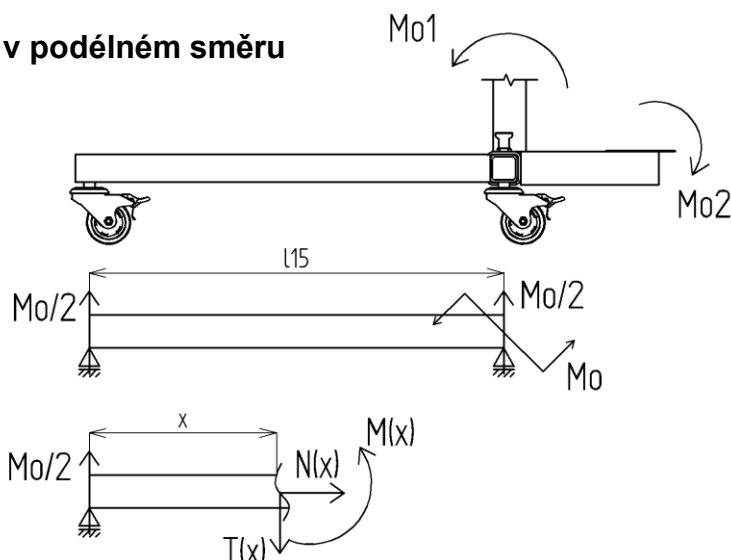
$$w(l_{15}) = 0 \Rightarrow c_1 = -\frac{l_{15}^2}{6} \quad (46)$$

Dosazení a výsledky:

Odlehlosti $x_0 = \frac{l_{15}}{\sqrt{3}}$ přísluší největší sklon a zároveň zde nastává největší průhyb.

$$w_{max} = w(x_0) = w\left(\frac{l_{15}}{\sqrt{3}}\right) = \frac{M_o \cdot l_{15}^2}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot J_{y5}} = \frac{(M_{o1} - M_{o2}) \cdot l_{15}^2}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot J_{y5}} \quad (47)$$

$$w_{max} = \frac{(209900 - 12400) \cdot 750^2}{2 \cdot 9 \cdot \sqrt{3} \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 261525} = 0,06 \text{ mm} \Rightarrow \text{Průhyb je přijatelný.}$$



Obr. 22: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{2 \cdot W_{05}} = \frac{(209900 - 12400)}{2 \cdot 8485} = 11,6 \text{ MPa} \quad (48)$$

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{Dov}$$

$$11,6 \text{ MPa} \leq 166,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.2.8. Ohyb podvozku v příčném směru

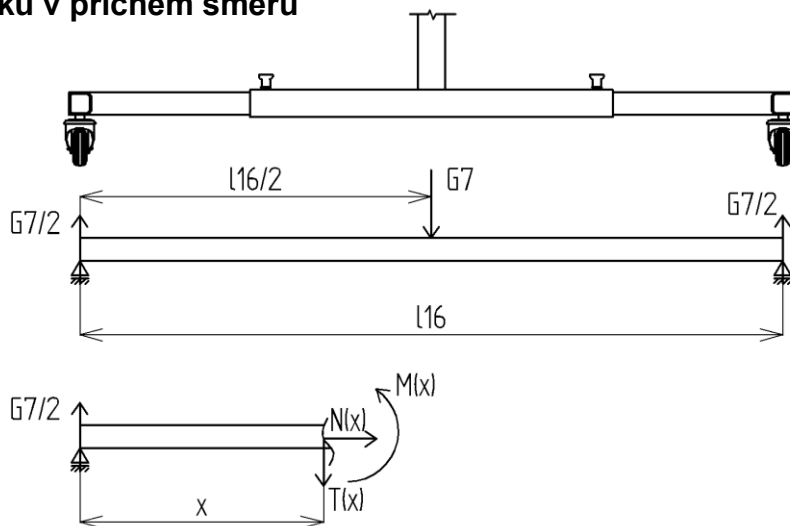
Zadané hodnoty:

$$l_{16} = 1500 \text{ mm}$$

$$G_7 = 256 \text{ N}$$

$$W_{05} = 8485 \text{ mm}^3$$

$$J_{y5} = 261\,525 \text{ mm}^4$$



Výpočet:

$$0 \leq x \leq l_{16}/2$$

$$T(x) = -\frac{G_7}{2} \quad (49)$$

$$M(x) = \frac{G_7}{2} \cdot x \quad (50)$$

$$w''(x) = -\frac{M(x)}{E \cdot J_y} = -\frac{G_7}{2 \cdot E \cdot J_{y5}} \cdot x \quad (51)$$

$$w'(x) = -\frac{G_7}{2 \cdot E \cdot J_{y5}} \cdot \left(\frac{x^2}{2} + c_1 \right) \quad (52)$$

$$w(x) = -\frac{G_7}{2 \cdot E \cdot J_{y5}} \cdot \left(\frac{x^3}{3} + c_1 \cdot x + c_2 \right) \quad (53)$$

Z okrajových podmínek

$$w(0) = 0 \Rightarrow c_2 = 0 \quad (54)$$

$$w(l_{16}) = 0 \Rightarrow c_1 = \frac{l_{16}^2}{8} \quad (55)$$

Dosazení a výsledky:

$$w_{\max} = w\left(\frac{l_{16}}{2}\right) = \frac{G_7 \cdot l_{16}^3}{48 \cdot E \cdot J_{y5}} = \frac{256 \cdot 1500^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 261525} = 0,32 \text{ mm} \quad (56)$$

Hodnota maximálního průhybu je přijatelná.

$$\sigma_{omax} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{G_7 \cdot l_{16}}{2 \cdot W_{o5}} = \frac{256 \cdot 1500}{2 \cdot 8485} = 22,6 MPa \quad (57)$$

Nyní lze spočítat celkové napětí v příčné části nohy podvozku, která je namáhána krouticím momentem (výpočet v kap. 4.2.3) a ohybovým momentem (kap. 4.2.8).

$$\sigma_{celk} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{\sigma_{omax}^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{22,6^2 + 3 \cdot 11,2^2} = 29,8 MPa \quad (58)$$

$$\sigma_{celk} \leq \sigma_{Dov}$$

$$29,8 MPa \leq 166,5 MPa \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.2.9. Teleskopické rameno

Zadané hodnoty:

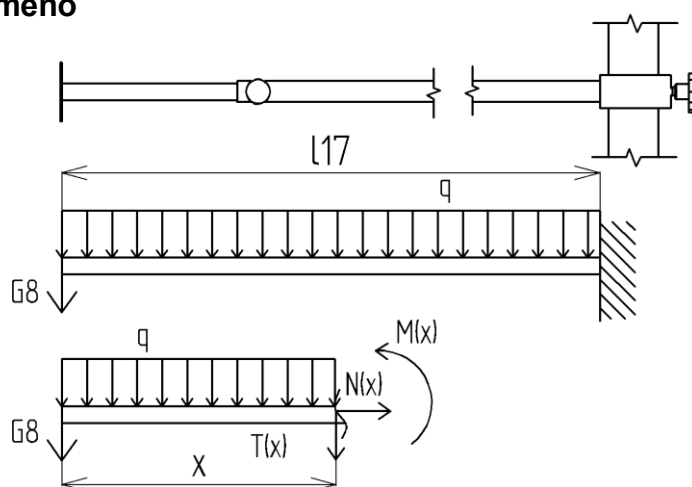
$$l_{17} = 1460 \text{ mm}$$

$$G_8 = 15 \text{ N}$$

$$q_{rt} = 11 \text{ N/m}$$

$$W_{o6} = 787 \text{ mm}^3$$

$$J_{y6} = 7872 \text{ mm}^4$$



Výpočet:

Obr. 24: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

$$M(x) = -G_8 \cdot x - \frac{q_{rt} \cdot x^2}{2} \quad (59)$$

$$w''(x) = -\frac{M(x)}{E \cdot J_y} = \frac{1}{E \cdot J_{y6}} \cdot \left(\frac{q_{rt} \cdot x^2}{2} + G_8 \cdot x \right) \quad (60)$$

$$w'(x) = \frac{1}{E \cdot J_{y6}} \cdot \left(\frac{q_{rt} \cdot x^3}{6} + \frac{G_8 \cdot x^2}{2} + c_1 \right) \quad (61)$$

$$w(x) = \frac{1}{E \cdot J_{y6}} \cdot \left(\frac{q_{rt} \cdot x^4}{24} + \frac{G_8 \cdot x^3}{6} + c_1 \cdot x + c_2 \right) \quad (62)$$

Z okrajových podmínek

$$w'(l_{17}) = 0 \Rightarrow c_1 = \frac{-q_{rt} \cdot l_{17}^3 - 3 \cdot G_8 \cdot l_{17}^2}{6} \quad (63)$$

$$w(l_{17}) = 0 \Rightarrow c_2 = \frac{G_8 \cdot l_{17}^3}{3} + \frac{q_{rt} \cdot l_{17}^4}{8} \quad (64)$$

Dosazení a výsledky:

$$w_{max} = w(0) = \frac{1}{E \cdot J_{y6}} \cdot \left(\frac{G_8 \cdot l_{17}^3}{3} + \frac{q_{rt} \cdot l_{17}^4}{8} \right) = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 7872} \cdot \left(\frac{15 \cdot 1460^3}{3} + \frac{0,011 \cdot 1460^4}{8} \right) \quad (65)$$

$w_{max} = 13,19mm \Rightarrow$ Hodnota maximálního průhybu je přijatelná. Skutečný průhyb bude menší, protože výpočet byl proveden pro jednotný (menší) průřez ramene.

$$M_{omax} = M(l_{17}) = -15 \cdot 1460 - \frac{0,011 \cdot 1460^2}{2} = -33623,8Nm \quad (66)$$

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{W_{o6}} = -\frac{33623,8}{787} = -42,7MPa \quad (67)$$

$$|\sigma_{omax}| < \sigma_{Dov}$$

$$42,7MPa < 166,5MPa \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3. Kontrola svarů

4.3.1. Svar mezi ramenem nesoucím digestoř a teleskopickým sloupem

Zadané hodnoty:

$$s=4,5mm$$

$$l_{sv}=44mm$$

$$b=40mm$$

$$G_1=90N$$

$$G_2=19,2N$$

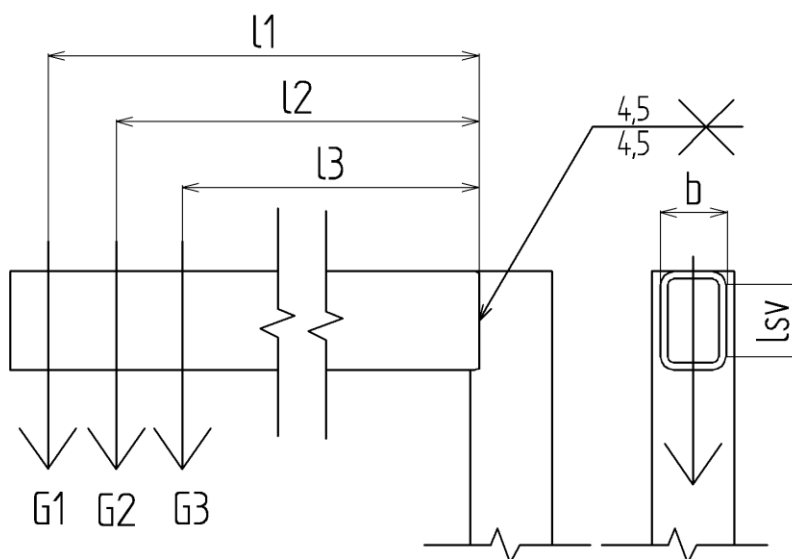
$$G_3=91,2N$$

$$l_1=1400mm$$

$$l_2=900mm$$

$$l_3=750mm$$

materiál 11 523



Obr. 25: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

Výpočet:

$$l_v = l_{sv} - 2 \cdot s = 44 - 2 \cdot 4,5 = 35mm \quad (68)$$

$$\tau_{s\perp} = \tau_{s\parallel} = \frac{T}{S} = \frac{G_1 + G_2 + G_3}{2 \cdot l_v \cdot s} = \frac{90 + 19,2 + 91,2}{2 \cdot 35 \cdot 4,5} = 0,64MPa \quad (69)$$

$$W_o = \frac{J_o}{z} = \frac{s \cdot l_v^3}{3 \cdot b} = \frac{4,5 \cdot 35^3}{3 \cdot 40} = 1607,8mm^3 \quad (70)$$

$$\sigma_{o\perp} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{90 \cdot 1380 + 19,2 \cdot 900 + 91,2 \cdot 750}{1607,8} = 130,5 \text{ MPa} \quad (71)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_{o\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{s\perp}^2} = \sqrt{130,5^2 + 3 \cdot 0,64^2} = 130,5 \text{ MPa} \quad (72)$$

$$\sigma_{Dov} = \frac{R_e}{k_p} = \frac{333}{2} = 166,5 \text{ MPa} \quad (73)$$

$$\sigma_s < \sigma_D$$

$$130,5 \text{ MPa} < 166,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3.2. Svar mezi teleskopickým sloupem a podvozkem

Zadané hodnoty:

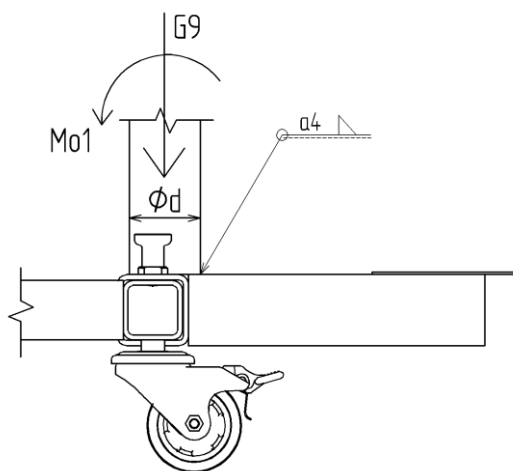
$$d=60\text{mm}$$

$$a=4\text{mm}$$

$$M_{o1}=209,9\text{Nm}$$

$$G_9=147\text{N}$$

Materiál 11 523



Obr. 26: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

Výpočet:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot ((d + 2 \cdot a)^4 - d^4) = \frac{\pi}{4} \cdot ((60 + 2 \cdot 4)^4 - 60^4) = 804,2 \text{ mm}^2 \quad (74)$$

$$\tau_{d\perp} = \frac{G_9}{S} = \frac{147}{804,2} = 0,18 \text{ MPa} \quad (75)$$

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(d + 2 \cdot a)^4 - d^4}{d + 2 \cdot a} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(60 + 2 \cdot 4)^4 - 60^4}{60 + 2 \cdot 4} = 12158 \text{ mm}^3 \quad (76)$$

$$\tau_{o\perp} = \frac{M_{o1}}{W_o} = \frac{209900}{12158} = 17,3 \text{ MPa} \quad (77)$$

$$\tau_{celk\perp} = \tau_{d\perp} + \tau_{o\perp} = 0,18 + 17,3 = 17,5 \text{ MPa} \quad (78)$$

$$\tau_{Dov\perp} = \alpha_{\tau\perp} \cdot \frac{R_e}{k_p} = 0,75 \cdot \frac{333}{2} = 124,9 \text{ MPa} \quad (79)$$

$$\alpha_{\tau\perp} = 0,75 - \text{dle ČSN 05 0120 Výpočet svarových spojů a strojních součástí}$$

$$\tau_{celk\perp} < \tau_{Dov\perp}$$

$$17,5 \text{ MPa} < 124,9 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3.3. Svar mezi podélnou a příčnou částí podvozku

Zadané hodnoty:

$$s=4\text{mm}$$

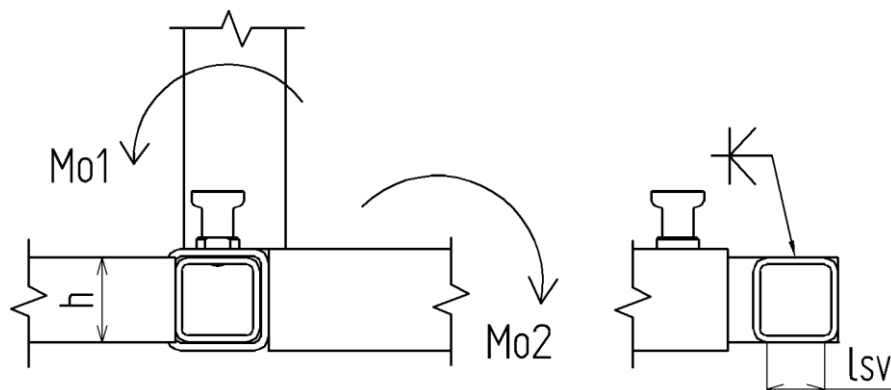
$$h=50\text{mm}$$

$$l_{sv}=34\text{mm}$$

$$M_{o1}=209,9\text{Nm}$$

$$M_{o2}=12,4\text{Nm}$$

Materiál 11 523



Obr. 27: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

Výpočet:

$$l_v = l_{sv} - 2 \cdot s = 34 - 2 \cdot 4 = 26\text{mm} \quad (80)$$

$$J_o = \frac{l_v \cdot h^3}{12} - \frac{l_v \cdot (h - 2 \cdot s)^3}{12} = \frac{26 \cdot 50^3}{12} - \frac{26 \cdot (50 - 2 \cdot 4)^3}{12} = 110309,3\text{mm}^4 \quad (81)$$

$$W_o = \frac{J_o}{z} = \frac{2 \cdot J_o}{h} = \frac{2 \cdot 110309,3}{50} = 4412,4\text{mm}^3 \quad (82)$$

$$\sigma_{o\perp} = \frac{M_o}{2 \cdot W_o} = \frac{M_{o1} - M_{o2}}{2 \cdot W_o} = \frac{209900 - 12400}{2 \cdot 4412,4} = 22,4\text{MPa} \quad (83)$$

$$\sigma_{Dov\perp} = \alpha_{\perp} \cdot \frac{R_e}{k_p} = 1 \cdot \frac{333}{2} = 166,5\text{MPa} \quad (84)$$

$\alpha_{\perp} = 1$ – dle ČSN 05 0120 Výpočet svarových spojů a strojních součástí

$$\sigma_{o\perp} < \sigma_{Dov\perp}$$

$$22,4\text{MPa} < 166,5\text{MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3.4. Svar mezi teleskopickým ramenem a objímkou

Zadané hodnoty:

$$a=2\text{mm}$$

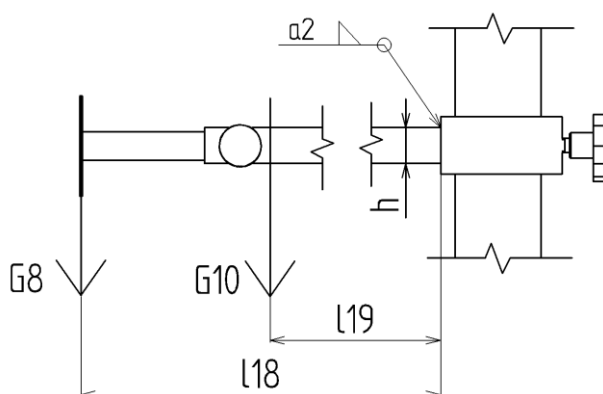
$$G_8=15\text{N}$$

$$G_{10}=18,5\text{N}$$

$$l_{18}=1460\text{mm}$$

$$l_{19}=700\text{mm}$$

$$h=25\text{mm}$$



Obr. 28: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

Výpočet:

$$\tau_{S\perp} = \tau_{S\parallel} = \frac{T}{S} = \frac{G_8 + G_{10}}{(b + 2 \cdot a)^2 - b^2} = \frac{15 + 18,5}{(25 + 2 \cdot 2)^2 - 25^2} = 0,2MPa \quad (85)$$

$$J_o = \frac{(h + 2 \cdot a)^4 - h^4}{12} = \frac{(25 + 2 \cdot 2)^4 - 25^4}{12} = 26388mm^4 \quad (86)$$

$$W_o = \frac{J_o}{z} = \frac{2 \cdot J_o}{h + 2 \cdot a} = \frac{2 \cdot 26388}{25 + 2 \cdot 2} = 1819,9mm^3 \quad (87)$$

$$\tau_{o\perp} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{G_8 \cdot l_{18} + G_{10} \cdot l_{19}}{W_o} = \frac{15 \cdot 1460 + 18,5 \cdot 700}{1819,9} = 19,1MPa \quad (88)$$

$$\tau_{celk\perp} = \tau_{o\perp} + \tau_{S\perp} = 19,1 + 0,2 = 19,3MPa \quad (89)$$

$$\tau_{Dov\perp} = \alpha_{\tau\perp} \cdot \frac{R_e}{k_p} = 0,75 \cdot \frac{333}{2} = 124,9MPa \quad (90)$$

$\alpha_{\tau\perp} = 0,75$ – dle ČSN 05 0120 Výpočet svarových spojů a strojních součástí

$$\tau_{celk\perp} < \tau_{Dov\perp}$$

$$19,3MPa < 124,9MPa \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3.5. Svar mezi držákem ventilátoru a podvozkem

Zadané hodnoty:

$$G_6=50N$$

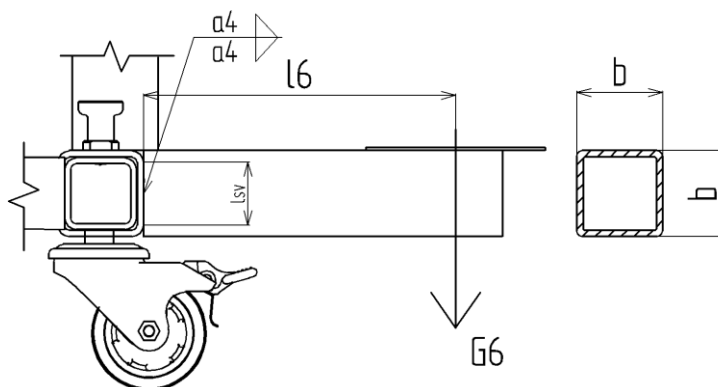
$$l_6=247,5mm$$

$$l_{sv}=44mm$$

$$b=50mm$$

$$a=4mm$$

Materiál 11 523



Obr. 29: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

Výpočet:

$$l_v = l_{sv} - 2 \cdot a = 44 - 2 \cdot 4 = 36mm \quad (91)$$

$$\tau_{S\perp} = \tau_{S\parallel} = \frac{T}{S} = \frac{G_6}{2 \cdot l_v \cdot a} = \frac{50}{2 \cdot 36 \cdot 4} = 0,2MPa \quad (92)$$

$$J_o = \frac{(b + 2 \cdot a) \cdot l_v^3 - b \cdot l_v^3}{12} = \frac{(60 + 2 \cdot 4)36^3 - 60 \cdot 36^3}{12} = 31104mm^4 \quad (93)$$

$$W_o = \frac{J_o}{z} = \frac{2 \cdot J_o}{b + 2 \cdot a} = \frac{2 \cdot 31104}{60 + 2 \cdot 4} = 914,8mm^3 \quad (94)$$

$$\tau_{o\perp} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{G_6 \cdot l_6}{W_o} = \frac{50 \cdot 247,5}{914,8} = 13,5MPa \quad (95)$$

$$\tau_{celk\perp} = \tau_{o\perp} + \tau_{s\perp} = 13,5 + 0,1 = 13,6MPa \quad (96)$$

$$\tau_{Dov\perp} = \alpha_{\tau\perp} \cdot \frac{R_e}{k_p} = 0,75 \cdot \frac{333}{2} = 124,9MPa \quad (97)$$

$\alpha_{\tau\perp} = 0,75$ – dle ČSN 05 0120 Výpočet svarových spojů a strojních součástí

$$\tau_{celk\perp} < \tau_{Dov\perp}$$

$$13,6MPa < 124,9MPa \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3.6. Svar mezi digestoří a držákem

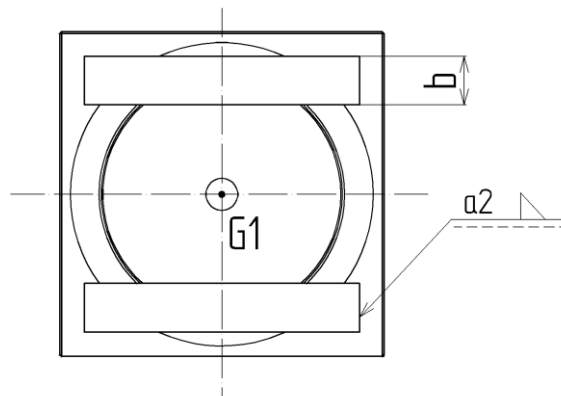
Zadané hodnoty:

$$G_1=90N$$

$$a=2mm$$

$$b=30mm$$

materiál 11 523



Obr. 30: Schéma zatížení [vytvořeno autorem]

Výpočet:

$$l_v = b - 2 \cdot a = 30 - 2 \cdot 2 = 26mm \quad (98)$$

$$\tau_{t\perp} = \frac{F_t}{S} = \frac{G_1}{4 \cdot a \cdot l_v} = \frac{90}{4 \cdot 2 \cdot 26} = 0,43MPa \quad (99)$$

$$\tau_{Dov\perp} = \alpha_{\tau\perp} \cdot \frac{R_e}{k_p} = 0,75 \cdot \frac{333}{2} = 124,9MPa \quad (100)$$

$\alpha_{\tau\perp} = 0,75$ – dle ČSN 05 0120 Výpočet svarových spojů a strojních součástí

$$\tau_{t\perp} < \tau_{Dov\perp}$$

$$0,43 < 124,9MPa \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

5. Předřazení mobilního odsávacího zařízení

Navržené zařízení je nutné vhodně předřadit v bezpečnostním systému varování a zapojení havarijní vzduchotechniky, který je naprojektován v laboratoři pohonných jednotek v CxI. V laboratoři je nainstalován obdobný systém, který je popsán v kapitole 2.4.1. Předřazení bude provedeno na základě informací z kapitoly 2.4.2.

5.1. Možnosti odsávání

Odsávání prostoru pod a nad motorem bude probíhat po celou dobu, kdy se na motoru bude provádět experiment. Odsávání probíhá za účelem přivedení možného uniklého paliva k čidlům. Pokud by ventilátor nebyl zapnutý, uniklé palivo by se rozplynulo v prostoru laboratoře a hromadilo by se mimo dosah čidel mobilního zařízení. Mobilní zařízení se nemůže podílet na odvádění uniklého paliva z prostoru zkušebny, jelikož není kudy odsáté palivo ze zkušebny odvést. Pokud by zařízení bylo napojeno na potrubí havarijního systému, pak by se odsátý plyn v potrubí pouze hromadil, jelikož ventilátory zajišťující odvod vzduchu z potrubí se zapnou až po aktivaci havarijního systému. Do ventilace, kterou se odvádí výfukové plyny z motoru, odsávání připojit také nelze. Prvním důvodem je vyšší teplota a hrozba vznícení plynu ve ventilaci. Druhým důvodem je cirkulace vzduchu ve ventilačním systému. Odsátý plyn by tedy cirkuloval ve ventilaci, kde by rostla jeho koncentrace.

5.2. Identifikace uniklého paliva

Zařízení bude opatřeno dvěma plynovými senzory. Jeden slouží k identifikaci lehkých plynů a bude umístěn v digestoři nacházející se nad motorem. Druhý senzor rozpozná přítomnost těžkých plynů a bude instalován na hrdlo odsávacího nátrubku, nalézajícího se v prostoru pod motorem. Po nastavení příslušných citlivostí (viz. Tab. 4) zajistí čidla včasnou reakci zařízení na uniklý plyn. Vhodné plynové senzory je možné obstarat na internetových stránkách firmy Dräger (www.draeger.cz).

5.3. Reakce na únik paliva

Úkolem zařízení je upozornit obsluhu laboratoře na únik paliva. Zařízení bude opatřeno zvukovou signalizací, kterou spustí impuls z čidla. Tím bude obsluha varována před vznikajícím nebezpečím a může v čas uzavřít přívod unikajícího paliva, čímž zamezí spuštění bezpečnostního havarijního systému. Zvukovou signalizaci je možno zakoupit na internetových stránkách firmy DEGA (www.dega.cz).

6. Závěr

V rešeršní části této bakalářské práce je zpracována problematika provozu plynových motorů při experimentech na zkušebně. V této části jsou též uvedeny používané bezpečnostní systémy a mobilní odsávací zařízení.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout mobilní zařízení pro lokalizaci a odsávání plyných paliv při jejich úniku. Na základě informací z rešeršní části byla zvolena koncepce zařízení. Jde o svařovanou ocelovou konstrukci opatřenou kolečky, která zajišťují mobilitu zařízení. Na rámu je zavěšená vzduchotechnika, která se stará o odsávání plynů v prostoru nad motorem a pod motorem. Zařízení lze nastavit do pracovní či transportní (skladovací) polohy. Z tohoto důvodu je zařízení opatřeno stavitelným rozchodem pojezdových koleček, teleskopickým sloupem, teleskopickým otočným ramenem, dělitelným ramenem a posuvnou digestoří. Tyto prvky zároveň zajišťují pokrytí požadovaného odsávacího prostoru. Nastavení jednotlivých prvků do požadované polohy zajišťuje manuálně obsluha. Z důvodů ekonomičnosti se zařízení skládá z normalizovaných součástek a jednoduchých dílů, výrobitelných z běžně dostupných polotovarů.

K navržené konstrukci jsou zpracovány výpočty. Všechny výsledky vyšly jako vyhovující. Na jejich základě, lze provést optimalizaci použitých materiálů a tím minimalizovat výrobní náklady.

K navržené konstrukci je zpracována výkresová dokumentace sestavy zařízení a jednotlivých výrobních dílů.

Poslední část bakalářské práce je věnována předřazení mobilního odsávacího zařízení bezpečnostnímu systému naprojektovanému v laboratoři pohonných jednotek v CxI. Předřazení je provedeno instalací citlivějších plynových senzorů na příslušné místo zařízení. Navržené zařízení se nebude aktivně podílet na odsání plynu z prostoru laboratoře, jelikož odsátý plyn není kudy odvádět. Při identifikaci plynu ve vzduchu spustí zvukový signál, který upozorní obsluhu na únik paliva. Ta má tak dostatek času na uzavření přívodu paliva než dojde k aktivaci bezpečnostního havarijního systému.

Všechny cíle bakalářské práce byly splněny. Rešeršní část poslouží jako zdroj informací pro obsluhu zkušebny a ostatní pracovníky katedry vozidel a motorů. Navržené zařízení je možné využít v nově vybudované laboratoři pohonných jednotek v CxI.

Seznam použité literatury

1. SCHOLZ, C. *Safety aspects of employing hydrogen as motor fuel. In 8th International Symposium MOTOR FUELS 08*, proceedings - part 2. Tatranské Matliare, Slovensko, 2008. ISBN 978-80-9697 10-2-2.
2. Článek o klasifikaci a označování látek a směsí. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/navrh-narizeni-ghs-o-klasifikaci-a-oznacovani-latek-a-smesi-1>
3. Šebor, G., Žákovec, J. a Pospíšil, M. *Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě*. Praha, červen 2008
4. ROSSEGGER, W. *Design criteria and instrumentation of hydrogen test benches. In 1ST international symposium on hydrogen internal combustion engines*. Graz, Austria, 2006.
5. Bezpečnostní list: Propan-Butan, Flaga s.r.o., datum revize: 12. 1. 2011
6. Bezpečnostní list: Methan stlačený nebo Plyn zemní, stlačený, Linde Gas a.s., datum revize: 1. 12. 2010
7. Internetový obchod průmyslových filtrací vzduchu. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.filtrace-vzduchu.cz>
8. Produktový katalog firmy Fumex. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: http://www.fumex.se/www/pages/movex_products.asp
9. Podrobný technický popis použitých kladek. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.blickle.cz/produkty/LEXR-VPP-80G-SG-FI.html>
10. Technický popis pružinového pístku. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.elesa-ganter.com/cz/32/sp/9001/4/85/pruzinove-pistky-s-aretaci/gn-607.5/eg/>
11. Technický popis ventilátoru TD 800/200 Ex. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/td-800-200-ex-nevybusny-ventilator>
12. Leinveber, J. a Vávra, P. *Strojnické tabulky, 4. doplněné vydání*. Úvaly, 2008.
13. Pešík, L. *Části strojů, 1. díl*. TU v Liberci 2010.
14. Pustka, Z. *Základy konstruování*. TU v Liberci 2009.
15. Mevald, J. *Pružnost a pevnost pro textilní inženýry*. Liberec, 1979.

Seznam příloh

Příloha P1: Schéma hydraulického zapojení

Příloha P2: Model mobilního odsávacího zařízení

Seznam výkresové dokumentace

Číslo přiložených výkresů:

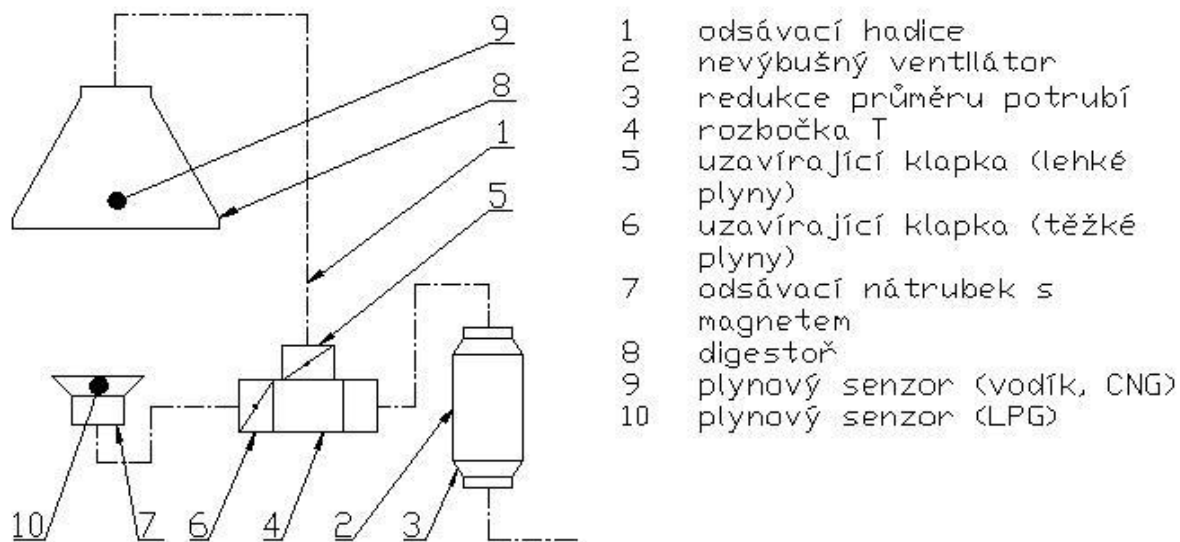
A0 – KVM – BP – 275 – 00
A3 – KVM – BP – 275 – 01
A3 – KVM – BP – 275 – 02
A4 – KVM – BP – 275 – 03
A4 – KVM – BP – 275 – 04
A3 – KVM – BP – 275 – 05
A4 – KVM – BP – 275 – 06
A3 – KVM – BP – 275 – 07
A4 – KVM – BP – 275 – 08
A4 – KVM – BP – 275 – 00 – 01
A4 – KVM – BP – 275 – 01 – 01
A4 – KVM – BP – 275 – 01 – 02
A4 – KVM – BP – 275 – 01 – 03
A4 – KVM – BP – 275 – 01 – 04
A4 – KVM – BP – 275 – 02 – 01
A4 – KVM – BP – 275 – 02 – 02
A4 – KVM – BP – 275 – 02 – 03
A4 – KVM – BP – 275 – 03 – 01
A4 – KVM – BP – 275 – 03 – 02
A4 – KVM – BP – 275 – 04 – 01
A4 – KVM – BP – 275 – 04 – 02
A4 – KVM – BP – 275 – 05 – 01
A4 – KVM – BP – 275 – 05 – 02
A3 – KVM – BP – 275 – 05 – 03
A4 – KVM – BP – 275 – 06 – 01
A3 – KVM – BP – 275 – 06 – 02
A2 – KVM – BP – 275 – 07 – 01
A2 – KVM – BP – 275 – 07 – 02
A3 – KVM – BP – 275 – 07 – 03
A4 – KVM – BP – 275 – 08 – 01

Obsah přiloženého CD

Složka	Obsah	formát souborů
[TEXT]	Text bakalářské práce	(.pdf)
[VÝKRESY]	Kompletní výkresová dokumentace	(.pdf)
[CAD DATA]	Vytvořené modely	(.step)
[OBRÁZKY]	Obrázky použité v práci	(.jpeg)
[PŘÍLOHY]	Přílohy k práci	(.pdf)

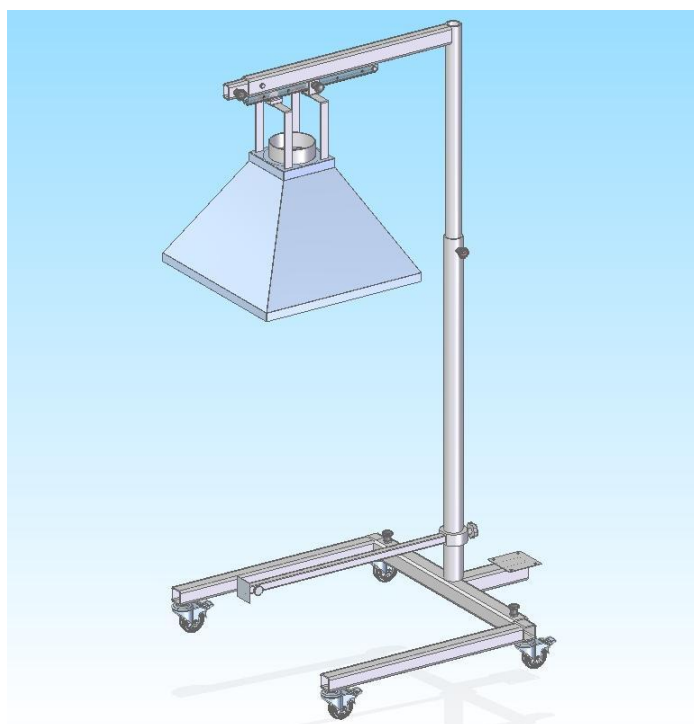
Příloha P1

Schéma zapojení vzduchotechnických prvků a umístění plynových čidel

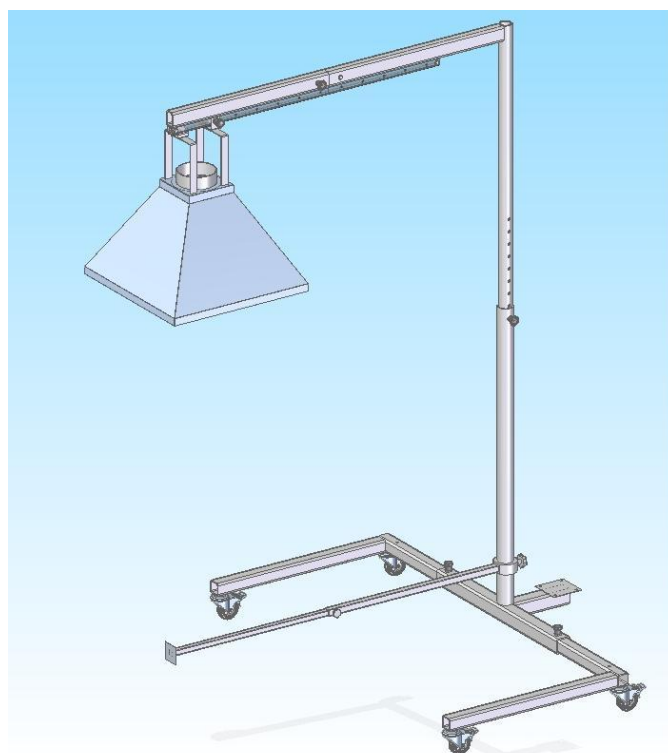


[vytvořeno autorem]

Příloha P2



Zařízení nastavené ve skladovací poloze. [vytvořeno autorem]



Všechny prvky zařízení nastavené do krajních (maximálních) poloh.
[vytvořeno autorem]